

PROMENADE
D'UNE FILLETTE
AUTOUR
D'UN
LABORATOIRE

PAR P. GOUZY

DESSINS DE TOURNOIS



500
604

BIBLIOTHÈQUE
D'ÉDUCATION ET DE RÉCRÉATION
J. HETZEL ET C^{ie}, 18, RUE JACOB
PARIS

Tous droits de traduction et de reproduction réservés



PROMENADE D'UNE FILLETTE
AUTOUR D'UN LABORATOIRE

Publié en 1887

PAR J. HETZEL ET C^{ie}

PROMENADE D'UNE FILLETTE



AUTOUR D'UN LABORATOIRE

COLLECTION HETZEL

PROMENADE
D'UNE FILLETTE
AUTOUR
D'UN
LABORATOIRE
PAR P. GOUZY

DESSINS DE TOURNOIS



BIBLIOTHÈQUE
D'ÉDUCATION ET DE RÉCRÉATION
J. HETZEL ET C^{ie}, 18, RUE JACOB
PARIS

Tous droits de traduction et de reproduction réservés



A MES JEUNES LECTRICES

Au cours de mon Voyage au pays des Étoiles, ayant eu l'occasion de parler de la pression atmosphérique à la fillette dont j'étais le cicerone : « Ce n'est pas, lui dis-je, dans un voyage tel que celui-ci, c'est dans une promenade à travers un laboratoire que nous pourrions approfondir ces choses », et j'ajoutais : « Peut-être ferons-nous ensemble cette promenade un jour¹. »

Cette promesse, je l'avais oubliée. Plusieurs de mes lectrices ont bien voulu me la rappeler.

C'est alors que j'ai compris toute mon imprudence ! Une promenade à travers un laboratoire ! Mais savez-vous, mes chères lectrices, que c'est un cours de physique que vous me demandez là ? — De physique, soit. Le Voyage au pays des Étoiles était bien un cours d'astronomie ! — Oui, mais la physique exige des appareils si délicats... — Eh bien, nous nous en passerons : nous nous sommes bien passées, pour le voyage aux étoiles, des lunettes des astronomes !

Tel fut, à peu près, le dialogue entre mes aimables correspondantes et moi.

J'ai dû m'exécuter, mais j'ai fait mes conditions. D'abord, ce ne sera pas au travers, mais autour d'un laboratoire que nous nous promènerons : — Point d'appareils... que ceux qui, à chaque pas, se présentent naturellement à qui sait les regarder. Puis, parmi les phénomènes dont notre promenade nous offrira le spectacle, j'ai fait un choix, et puisque c'est pendant le voyage aux étoiles qu'est née la première idée de ce nouveau petit livre, je ne leur en présenterai aucun dont elles n'aient déjà, au cours de ce voyage, fait un peu la connaissance.

Au pays des étoiles, elles ont vu l'attraction universelle précipiter à chaque instant la lune sur la terre et les planètes sur le soleil ; — sur notre terre, je la leur montrerai, sous le nom de pesanteur, tantôt arrachant du pommier la pomme de Newton, tantôt obligeant l'eau des lacs à s'étaler en une surface horizontale, tantôt la forçant à suivre, dans les pompes, le piston qu'élève la main du pompier, etc.

Au pays des étoiles, elles ont rencontré la chaleur, terrible dans le Soleil, encore intolérable dans Mercure, à peine sensible dans Jupiter ; — sur terre, je la leur montrerai devenant la source de la vie ; je leur apprendrai comment on la mesure, comment on la produit dans nos cheminées, comment on la conserve au moyen des fourrures, etc.

Et quand notre promenade nous aura permis d'étudier, ou plutôt de regarder (car ce petit livre n'est pas un livre d'étude) les phénomènes par lesquels se manifestent aux terriens ces deux vieilles connaissances, la pesanteur et la chaleur ; quand nous saurons sur ces deux agents ce que tout le monde en doit savoir (et ce que, hélas ! presque personne ne sait), eh bien, la promenade sera finie, et nous nous reposerons.

Plus tard, mesdemoiselles, si je suis assez heureux pour que cette promenade vous ait intéressées, nous pourrons en entreprendre une autre.

Le son, la lumière, nous fourniront des sujets de causerie non moins curieux que ceux d'aujourd'hui ; le magnétisme, l'électricité, nous feront voir.... Mais qu'ai-je besoin de vous l'annoncer si longtemps à l'avance ?

On va s'imaginer que c'est une préface ;
Moi qui n'en lis jamais !...

P. G.

PREMIER ENTRETIEN

PHÉNOMÈNES ET LOIS

Quand le maître de philosophie propose à M. Jourdain de lui apprendre la physique : « Qu'est-ce qu'elle chante, cette physique ? » demande M. Jourdain.

« La physique, dit le maître de philosophie, est celle qui explique les principes des choses naturelles, et les propriétés des corps ; qui discourt de la nature des éléments, des métaux, des minéraux, des pierres, des plantes et des animaux, et nous explique les causes de tous les météores, l'arc-en-ciel, les feux volants, les comètes, les éclairs, le tonnerre, la foudre, la pluie, la neige, la grêle, les vents et les tourbillons. »

Et M. Jourdain de répondre : « Il y a trop de tintamarre là dedans, trop de brouillamini. »

Je suis, ma chère enfant, de l'avis de M. Jourdain, et ce n'est pas tout ce tintamarre et ce brouillamini que je veux vous apprendre.

Hélas ! je le voudrais en vain, et le maître de philosophie était bien osé, de promettre à son élève « les causes de tous les météores ! » Les causes, ma chère enfant, le maître de philosophie ne les savait pas, ni moi non plus, ni personne. Pourquoi les choses arrivent, c'est une question à laquelle l'humanité ne sait, et probablement ne saura jamais répondre. Comment elles arrivent, il faut déjà s'estimer bien heureux quand on peut le dire.

Que vais-je donc vous apprendre ?... Voilà, ma chère enfant, que je parle encore comme le maître de philosophie :

« Que voulez-vous donc que je vous apprenne ? »

Et ma réponse sera précisément celle de M. Jourdain :

« Apprenez-moi l'orthographe. »

Oh ! rassurez-vous ! Ce n'est pas de la règle des participes que je compte vous entretenir ; mais on fait en ce monde bien d'autres fautes d'orthographe que celle qui consiste à faire mal à propos accorder un participe.

Quand une femme, et quelquefois un homme (disons-le tout bas), vous parle des degrés de froid du thermomètre, il ou elle fait une faute

d'orthographe ; faute d'orthographe aussi, quand vous vous enfermez dans un cabinet noir par peur de l'orage, et au malaise que cause à tout le monde le temps orageux, ajoutez, pour vous seule, celui de vous asphyxier à moitié dans un air irrespirable ; faute d'orthographe quand, aux bains de mer ou de rivière, vous répétez, après tant d'autres, qu'on nage mieux dans dix mètres d'eau que dans une profondeur de deux mètres ; faute d'orthographe... mais je n'en finirais pas si je voulais les énumérer toutes. Ma chère enfant, c'est de ces fautes d'orthographe-là que je veux essayer de vous préserver.

Non à grand renfort de science et de démonstrations arides,

Car je hais les robins, les pédants et les cuistres,

mais en causant avec vous comme causent deux bons amis. Je vous ai proposé de faire avec moi une promenade autour d'un laboratoire ; ordinairement, autour voudra dire en dehors ; si par hasard quelque fenêtre du laboratoire est restée ouverte, nous en profiterons pour jeter un coup d'œil sur les appareils qu'il renferme ; mais, le plus souvent, nous nous contenterons du grand laboratoire que la nature offre partout à qui sait l'observer. Quand nous rencontrerons un phénomène, une loi qui vaudra qu'on s'y arrête, je vous l'expliquerai du mieux que je saurai. Quand je ne saurai pas (et cela m'arrivera souvent), je vous l'avouerai en toute franchise. Ainsi nous ferons, bras dessus, bras dessous, notre petite promenade, et, quand elle sera finie, je m'estimerai bien heureux si j'ai, si peu que ce soit, augmenté votre petit savoir, si je vous ai donné le désir d'apprendre davantage, et surtout... si je ne vous ai pas ennuyée.

Mais voilà qu'en causant j'ai prononcé les mots Lois et Phénomènes, et oublié une promesse que je me suis faite à moi-même : celle de n'employer aucun mot qui vous soit nouveau, sans vous en faire connaître le sens exact.

En fait de Phénomène, vous ne connaissez que ceux qu'on montre dans les foires. Pour vous, le mot Phénomène ne s'applique qu'à quelque chose d'extraordinaire, c'est comme un synonyme de prodige.

Il faudra le prendre désormais dans un sens plus large : une pierre qui tombe, le son que rend, quand vous la pincez, la corde d'un violon, la fente qu'en se congelant l'eau fait au vase où elle était renfermée, l'arc-en-ciel

que le soleil, en se jouant dans le bouchon de la carafe, va peindre sur la nappe, voilà autant de phénomènes.

Vous savez que les savants ont la manie de parler grec en français. Eh bien, en grec, phénomène veut dire tout ce qui arrive, tout ce qui apparaît à nos sens, et c'est dans cette acception-là que nous emploierons ce mot désormais.

Quant au mot Loi, quelques exemples vont vous en rendre le sens très clair.

Si, ayant pincé successivement une corde de harpe, une corde de violon, une corde de basse, une corde de guitare, et ayant obtenu chaque fois un son, vous dites :

« Quand on pince une corde tendue, cette corde rend un son, » c'est une loi que vous avez énoncée.

Si, ayant recourbé un tuyau de caoutchouc en forme d'U majuscule — U — et y ayant versé de l'eau, vous remarquez que l'eau monte toujours dans les deux branches à la même hauteur, c'est encore une Loi que vous avez formulée.

Pourquoi ? c'est que le phénomène du son rendu et celui de l'eau prenant son niveau, se sont produits toutes les fois que vous avez répété les circonstances où ils s'étaient produits une fois, et jamais hors de ces circonstances ; par exemple, si vous aviez regardé les cordes sans les pincer, ou l'U de caoutchouc sans en remplir la première branche, ni les cordes n'auraient rendu des sons, ni l'eau ne serait montée dans la seconde branche.

Et alors ? — Et alors, la loi est l'ensemble des circonstances dans lesquelles un phénomène se produit toujours, et hors desquelles il ne se produit jamais.

Et puis ? — Et puis, et puis, j'ai bien peur d'avoir manqué à ma promesse, et de vous avoir ennuyée avec mes lois et mes phénomènes. Mais soyez indulgente. Je commence, et ne savez-vous pas qu'en toutes choses c'est le commencement qui est le plus aride ? Avant de jouer les sonatines qui vous amusent aujourd'hui, n'a-t-il pas fallu faire les plus ennuyeux exercices ? avant de lire le Magasin d'éducation et de récréation, que je vois là sur votre table, épeler b — a — ba, et c — o — co ?

Faites-moi donc, ma chère enfant, crédit de quelques entretiens, et je tâcherai que vous ne vous en repentiez pas trop.

II^e ENTRETIEN

LA MATIÈRE ET LES CORPS.

« Tout ce qui apparaît à nos sens est un phénomène. » — « L'ensemble des circonstances dans lesquelles un phénomène se produit toujours est une loi. » J'ai, vous le voyez, monsieur, compris et retenu votre premier entretien. Or, quand je lis un livre attendrissant, je pleure ; voilà bien un phénomène ? et je pleure toujours ; voilà bien une loi ? Sont-ce les phénomènes de ce genre, et les lois de cette espèce, que vous comptez m'expliquer ? »

Non, mon enfant, et vous me faites apercevoir que je n'ai pas commencé par le commencement.

Le phénomène et la loi dont vous me parlez n'ont rien à faire avec nos entretiens. L'un est un phénomène moral, l'autre une loi morale, et je ne compte vous entretenir que des phénomènes et des lois physiques, de celles qui ont la matière pour objet : j'aurais donc dû vous dire tout d'abord ce que c'est que la matière.

La matière ? Eh bien, le caillou qui heurte votre pied, l'eau qui ruisselle du marbre des fontaines, la fumée qui s'envole derrière la locomotive, le nuage que le vent emporte, et le vent lui-même,

Et tout ce que l'on voit, l'on sent et l'on respire,

tout cela, c'est la matière.

Vous le saviez très bien avant que je ne vous le disse. Mais vous auriez été embarrassée de l'expliquer clairement en peu de mots. Si quelqu'un, désormais, vous demandait ce que c'est que la matière, dites-lui :

« La matière est tout ce qui frappe nos sens. »

Il n'en saura pas beaucoup plus qu'auparavant, car il n'est pas nécessaire de pouvoir définir la matière pour sentir nettement ce qu'elle est, mais vous

lui aurez toujours montré que vous savez la définition qu'on en donne dans les livres.

L'essentiel est de bien s'entendre. Et, tenez, quand je vous disais tout à l'heure ; Le caillou qui heurte votre pied, l'eau qui ruisselle du marbre de la fontaine, etc., tout cela c'est la matière, je me trompais. J'aurais dû vous dire : Tout cela, c'est de la matière. C'est une portion de matière limitée, une portion de matière limitée en tout sens. C'est ce que, d'un seul mot, nous appelons un corps.

— Un corps ? oui, le caillou ; oui, à la rigueur, l'eau qui coule de la vasque, puisque l'hiver dernier j'ai vu cette même eau gelée et enveloppant d'un manteau de cristal les naïades de bronze. Mais la fumée de la locomotive, un corps ! Mais le nuage qui passe ! Mais le vent qui l'emporte !...

— Oui, mon enfant, et un peu de réflexion fera cesser votre étonnement. Voici un morceau de soufre ; voyez comme il est dur ! il faudrait un marteau pour le briser ; c'est bien un corps, n'est-ce pas ? Mettez-le dans une terrine, et la terrine sur le feu.

Ce corps, si dur tout à l'heure, coule maintenant comme l'eau de la fontaine, et cependant c'est bien le même corps. Mais attendez et chauffez davantage : il n'y a plus rien dans la terrine. Où donc est passé le soufre que nous y avons mis ? Sous nos yeux, à notre barbe (pardon, ma chère enfant, je voulais dire à ma barbe), il s'est envolé en fumée. Et c'est toujours le même soufre, et, par conséquent, le même corps. Et c'était de même un corps que la fumée de la locomotive, un corps que le nuage, un corps que le vent, ou plutôt que l'air agité qu'on appelle le vent.

— Mais ces corps, puisque corps il y a, sont du moins dans des états bien différents, et l'on aurait dû inventer des mots différents aussi pour les distinguer.

— C'est précisément ce qu'on a fait, mademoiselle, et si vous ne m'aviez pas interrompu, ce sont justement ces noms que j'allais vous apprendre.

Vous l'avez dit vous-même, les corps peuvent passer par trois états différents :

L'état dans lequel était le soufre en bâton qu'un marteau seul aurait pu casser, dont les... ah ! mon Dieu, j'allais dire les molécules ! Peste soit des définitions et des mots qui les exigent ! Les molécules ! C'est pourtant vrai que j'ai besoin de ce mot pour bien vous faire comprendre les trois états des corps !

Va donc pour les molécules, et remettons à plus tard les trois états.

Sachez donc que les corps (on le suppose du moins) sont tous composés de parties infiniment petites, si petites qu'on ne peut ni les couper, ni même concevoir qu'on les coupe elles-mêmes en plusieurs parties. C'est cette propriété de ne pouvoir être coupés qu'exprime (en grec toujours !) le mot atome, si bien que ces parties infiniment petites s'appellent des atomes.

Un certain nombre d'atomes forment ce que les physiciens appellent de ce terrible nom qui m'a forcé tout à l'heure à ouvrir une longue parenthèse, une molécule.

Voulez-vous, ma chère enfant, une comparaison (pas bien exacte ! mais vous savez le proverbe : Comparaison n'est pas raison). Voulez-vous une comparaison qui vous donne, vaille que vaille, une idée des molécules et des atomes ?

Voici une phrase ayant un sens qui forme un tout complet. Elle est l'image du corps. Les mots en sont les molécules, et, dans ces mots, vous pouvez encore séparer les lettres ; mais arrivée à ce point de division, vous êtes au bout. Les lettres ne peuvent plus se diviser. Ce sont les atomes.

Remarquez de plus qu'avec les mêmes lettres différemment groupées, vous pouvez former des milliers de mots divers, qui, à leur tour, assemblés de mille façons différentes, serviront à former toutes les phrases qu'il vous plaira d'imaginer.

Ainsi les mêmes atomes, diversement groupés en myriades de molécules différentes, servent, par les milliers d'arrangements que peuvent à leur tour prendre ces molécules, à former tous les corps de l'univers.

Ce sont ces corps qui peuvent prendre les trois états que j'allais vous décrire quand le mot de molécule est venu si malencontreusement se jeter à la traverse.

Et maintenant que les atomes et les molécules n'ont plus... j'allais dire n'ont plus rien qui vous embarrasse, mais je retire l'expression, car je serais bien fâché, si vous trouviez trop clair ce qui reste et restera longtemps (toujours peut-être !) obscur pour tout le monde ; disons simplement : maintenant que vous avez quelque idée de ce qu'on entend par les atomes et les molécules, nous pouvons dire ce que sont les trois états des corps.

Dans certains, les molécules, fortement attachées les unes aux autres, demandent, pour être séparées, un effort sensible. Ainsi, il faut une scie du plus fin acier pour séparer les molécules du fer ou du marbre. Une scie plus ordinaire suffit pour le bois dur ; un couteau pour le bois tendre ; des

ciseaux pour les tissus ; un couteau à peine tranchant, à lame d'argent, sépare les molécules des fruits. Tous ces corps, dont les molécules demandent pour être séparées les unes des autres des efforts plus ou moins grands, mais toujours sensibles, sont à l'état solide. Ce sont les corps solides.

Prenez au contraire des vases pleins d'huile, de lait, d'eau, d'éther, il suffit d'y plonger la main pour en séparer sans effort, sans effort sensible du moins, les molécules. Ces corps sont à l'état liquide. Ce sont les corps liquides.

Enfin, regardez la fumée dont la locomotive laisse derrière elle le mobile panache, ou celle dont la bouche du fumeur lance les capricieuses spirales, et vous reconnaîtrez non seulement que les molécules de ces corps ne résistent pas à l'effort de celui qui cherche à les séparer, mais encore que cet effort est inutile. D'elles-mêmes elles se séparent, se fuient, et le corps ne tarde pas à remplir, s'il est prisonnier, l'espace où on l'a enfermé, ou à s'étendre indéfiniment, s'il est libre, jusqu'à ce que ses molécules deviennent si rares qu'elles disparaissent aux yeux.

Ces corps sont à l'état gazeux, ce sont les gaz.

Et quand j'ai dit, tout à l'heure, que leurs molécules deviennent si rares qu'elles disparaissent aux yeux, je me suis mal exprimé, car un grand nombre de gaz, le plus grand nombre même, sont invisibles. Faisant partie de la matière, ils frappent nos sens, et souvent même trop pour notre plaisir, comme le gaz ammoniac, qui sent si mauvais qu'on ne peut le respirer sans pleurer. Ceux qui ont dégraissé des habits avec de l'eau où l'on a fait dissoudre ce gaz en savent quelque chose. Mais le sens qu'ils frappent le moins, c'est la vue.

C'est au point que les gaz que j'avais choisis d'abord pour exemple, afin de vous parler de choses que vous connaissiez déjà : la fumée de la locomotive ou celle de la cigarette, ne sont pas de vrais gaz, mais de petits corps solides réduits en poussière impalpable, de microscopiques morceaux de charbon, que l'air chauffé emporte comme le vent emporte la poussière.

Il importe peu, au surplus, et l'essentiel est que vous vous fassiez, des trois états des corps, une idée bien nette.

Mais elle le serait bien peu, ma chère enfant, si vous vous imaginiez que la nature a réparti tous les corps de l'univers en trois catégories distinctes, exclusives, disant à l'un : Toi, tu appartiendras au monde des solides, et il faudra un instrument tranchant pour te diviser ; à l'autre : Tes molécules

céderont au moindre effort, et tu auras l'instabilité de l'onde : liquide à jamais tu seras ; à l'autre enfin : Toi, tu ne connaîtras pas de bornes à ton désir de liberté : tes molécules profiteront de la moindre fissure au vase où la main de l'homme les enfermera, pour prendre la clef des champs ; tu seras gaz.

Non, ce n'est pas ainsi que les choses se passent, et la nature, de qui l'on a dit en latin de cuisine : *Natura non facit saltus*, « la nature ne fait pas de saut, » a voulu que presque tous les corps pussent être successivement solides, liquides et gazeux.

Vous ne seriez pas, ma chère enfant, embarrassée pour m'en fournir vous-même la preuve, vous qui me parliez tout à l'heure du manteau de glace dont l'hiver couvre la naïade de la fontaine, et qui avez si souvent écouté le chant de la bouilloire dont l'eau s'échappe en gaz quand votre maman prépare le thé.

Solide, liquide, gazeux, sont donc trois adjectifs des plus relatifs, et qui conviennent successivement aux mêmes corps, quand changent les circonstances dans lesquelles ces corps se trouvent.

Et quand changent-elles ? C'est, ma chère enfant, ce que vous apprendrez plus tard, si vous avez la patience de prêter votre attention à ces entretiens.

III^e ENTRETIEN

LES PROPRIÉTÉS DE LA MATIÈRE

« Impénétrabilité, porosité, compressibilité, élasticité, inertie...

— Miséricorde ! qu'est-ce que c'est que ce charabia ?

— Ce charabia, ce sont, mademoiselle, les noms des propriétés de la matière, que j'ai bien envie de ne pas vous apprendre, pour punir votre irrévérence.

Et cependant, si vous saviez comme elles sont curieuses !

Tenez, l'impénétrabilité, par exemple. Eh bien, l'impénétrabilité est la propriété en vertu de laquelle deux corps ne peuvent pas occuper en même temps la même place.

— Oh bien ! si c'est là ce que vous appelez intéressant, il y a beau temps que je le savais, et je crois même, s'il faut que je l'avoue, que c'est M. de la Palisse qui me l'a appris. Ah ! ah ! Que deux corps ne puissent pas occuper en même temps la même place, voilà une vérité nouvelle !

— Plus nouvelle que vous ne pensez, au moins pour vous, mademoiselle, et vous l'allez bien avouer. »

Voyez-vous ? au fond de cette cuiller il y a un peu d'eau. J'y mets un morceau de craie. Voilà l'eau qui disparaît. Où va-t-elle ? Je ne sais, mais on dirait que la craie l'a bue, car il n'en reste plus, au moins en apparence, si bien qu'en dépit de ce que vous a si bien appris M. de la Palisse, l'eau et la craie, — deux corps, — occupent en même temps la même place. Hein ? vous ne dites plus rien. C'est donc moi qui vais répondre pour vous.

Vous saurez, ma chère enfant, que les molécules de cette craie ne se touchent pas. Elles sont séparées par de petits intervalles qu'on appelle les pores, si petits qu'on ne les voit pas, et c'est dans ces pores que l'eau est entrée tout à l'heure, quand elle a disparu. Si bien que lorsque nous avons cru que l'eau et la craie occupaient en même temps la même place, nous nous trompions. C'est précisément la place que n'occupait pas la craie que l'eau est allée prendre. Ce n'est pas dans la craie que l'eau a pénétré, mais entre les molécules de la craie, car la matière est impénétrable ; car

l'impénétrabilité est la première de ces propriétés dont le nom vous a paru du charabia.

Et la seconde ? La seconde est la porosité, la propriété en vertu de laquelle les molécules, séparées par des pores, ne se touchent pas.

— J'ai bien compris, et votre explication est fort ingénieuse ; mais en vérité, puisque ces pores sont si petits qu'on ne saurait les voir, qui vous a dit et comment pouvez-vous affirmer qu'ils existent ?

— Je vous ai, ma chère enfant, promis, quand je ne pourrais pas vous donner une explication, de vous l'avouer en toute franchise, mais ce n'est pas ici le cas, et rien n'est moins embarrassant que votre question : « Comment le savez-vous ? »

Voici un verre plein de ce petit plomb avec lequel on tire les moineaux et qu'on appelle la cendrée. Tous les grains se touchent, n'est-il pas vrai ? ou semblent se toucher. Versez cependant un peu d'eau dans le verre. L'eau disparaîtra, et cette fois encore semblera occuper la même place que le plomb. Mais cette fois vous n'hésitez pas, et déclarerez tout de suite qu'elle s'est logée dans les interstices des grains de plomb.

Eh bien, voilà une analogie qui rend déjà bien probable mon explication de tout à l'heure. Mais probable ne suffit pas, et je ne veux pas qu'elle vous semble probable, mais certaine.

Pesez donc séparément le plomb et l'eau que vous y versez, puis pesez le plomb après que vous y avez versé l'eau. Que pèsera-t-il ?

— Il pèsera autant que le plomb et l'eau ensemble.

— Naturellement. Eh bien, faites la même expérience avec le morceau de craie, et vous verrez que, mouillé, il pèse justement autant que pesaient à eux deux le morceau de craie sec et l'eau dans laquelle nous l'avons mis.

Êtes-vous convaincue maintenant ? Mais je vais bien plus vous surprendre : Tous les corps, les plus serrés aussi bien que ceux dont la matière semble le plus lâche, tous les corps ont des pores. L'or lui-même.... Mais ce roi des métaux mérite de nous arrêter un instant, et je veux, à propos de lui, vous conter une petite histoire.

Elle s'est passée à Florence, en 1661, et la voici en deux mots :

« Les académiciens firent fabriquer une boule creuse, en or, et, ayant soudé le trou par lequel ils avaient introduit l'eau, se mirent à frapper sur la boule à grands coups de marteau. A chaque coup l'eau suintait à travers les pores de la boule, et me préparait ainsi le moyen de démontrer deux cents

ans plus tard aux petites filles incrédules la propriété de la matière qu'on appelle la porosité.

— Oh ! ne dites pas que cela vous est égal, car j'aurais bientôt fait de vous montrer que non.

Savez-vous comment on filtre à la cuisine l'eau que vous buvez à la salle à manger ? La cuisinière la verse dans un vase d'où elle ne peut sortir qu'après avoir traversé une pierre poreuse où elle laisse les petites malpropretés dont elle était chargée. La cuisinière utilise la porosité de la matière.

Savez-vous comment les ouvriers carriers divisent les pierres qui résistent à leurs outils ? Dans une petite fente, ils introduisent un coin de bois sec, et le mouillent. Les pores du bois se remplissent d'eau ; le bois se gonfle, et la pierre, en éclatant, montre une nouvelle application de la porosité.

Et l'obélisque, savez-vous l'histoire de l'obélisque ? Non. La voici, alors :

L'obélisque était arrivé sans encombre de Louqsor, en Egypte, sur la place de la Concorde ; là, il s'agissait de le hisser sur son piédestal. Tout le beau monde de Paris était présent, le roi Louis-Philippe en tête. Tirée par des machines puissantes (des treuils, peut-être vous dirai-je quelque jour ce que c'est), l'énorme pierre se dressait lentement, au milieu du silence, de l'anxiété générale. Encore un instant elle allait être en place. Tout à coup elle s'arrête : les cordes ne tirent plus. Elles sont un peu trop longues. Faudra-t-il que les ingénieurs qui, de Louqsor à Paris, ont inventé tant de manœuvres savantes pour sauver le précieux monolithe, aient la douleur d'échouer au port, devant tout Paris, devant le roi et sa cour ?

Rassurez-vous, mon enfant, la porosité est là. Une voix, dans la foule, crie : « Mouillez les cordes ! » On les mouille. L'eau les gonfle, et par conséquent les raccourcit. L'obélisque recommence à monter. Voici qu'il se dresse sur sa base. Bravo ! Vive la porosité !

Quel dommage que je n'aie jamais cru un mot de cette histoire ! Mais si vous voulez y croire, vous, ma chère enfant, vous le pouvez, car elle n'a aucune impossibilité, du moins aucune impossibilité tirée de la physique.

Et maintenant, direz-vous encore du mal de la porosité, et ce vilain mot de charabia ne le retirerez-vous pas ?

Justement la porosité peut encore nous apprendre quelque chose :

Voici deux dés à jouer : l'un en ivoire, comme tous les dés ; l'autre, je l'ai taillé bien égal au premier dans de la mie de pain. Ils sont de même forme, de même volume, ils sont blancs tous les deux ; à six pas vous ne les distingueriez pas. Mais prenez-en un dans chaque main, et essayez, en les pressant entre vos doigts, de réduire leur volume. Vous l'essaierez en vain pour celui d'ivoire. Le dé de mie de pain, au contraire, vous le diminuerez aisément.

Pourquoi ? C'est que les molécules du dé d'ivoire sont pressées les unes contre les autres ; la porosité y est faible, la matière y est compacte, serrée. Dans le dé de mie de pain, au contraire, les molécules sont espacées, le vide considérable, il y a peu de matière. N'est-ce pas qu'un mot était utile pour exprimer cette double propriété ? On a choisi le mot masse. Au lieu de dire : Le dé d'ivoire renferme plus de matière que le dé de mie de pain, ce qui est bien long, nous dirons d'un seul mot : Le premier a plus de masse que le second. Vous l'avez dit souvent ce mot « masse ». Quand vous le prononcerez désormais, vous en aurez une idée nette.

De la compressibilité je n'aurais, ma chère enfant, rien à vous dire, car le mot s'explique de lui-même, si certains corps n'étaient privés, ou peu s'en faut, de cette propriété.

Ces corps sont les liquides. C'est ce qu'apprennent à leurs dépens ceux qui, mettant en bouteille un vin précieux, ont l'imprudence de laisser le liquide monter trop près du bouchon ; car au premier coup de battoir, le vin, qui se comprimerait s'il était compressible, prouve qu'il ne l'est pas en cassant la bouteille.

Mais c'est ce que reconnurent bien mieux encore les académiciens de Florence quand l'eau qu'ils avaient enfermée dans leur boule d'or suinta, plutôt que de se comprimer, à travers les imperceptibles pores du métal.

Si la compressibilité vous offre peu d'intérêt, en revanche l'élasticité joue un trop grand rôle dans vos jouets, dans vos ajustements, dans vos meubles, dans votre couchette, pour que je ne sois pas obligé de m'y arrêter un peu plus longtemps.

La balle que vous faites sauter, et la raquette qui renvoie votre volant, la baleine qui maintient voire corsage, et le caoutchouc qui empêche votre chapeau de s'envoler, les ressorts de votre fauteuil et ceux de votre sommier sont, ma chère enfant, autant de corps élastiques. Essayons de découvrir par où se ressemblent ces corps, au premier abord si disparates.

Quand vous lancez contre le sol votre balle avec force, elle s'y aplatit d'abord ; mais aussitôt, reprenant sa première forme, elle pousse avec plus ou moins de force le plancher, et comme celui-ci ne cède pas, c'est elle qui cède et rebondit sous la main qui l'a lancée.

La raquette, au contraire, joue le rôle du plancher, mais d'un plancher qui cède sous la pression du volant, qui se creuse, puis, reprenant vivement sa première forme, repousse, en se redressant, le volant qui l'avait creusé.

Sans la baleine de votre corsage, les plis qu'y dessine chacun de vos mouvements ne s'effaceraient plus. Mais la baleine, reprenant instantanément la forme que votre mouvement lui a fait perdre, rend cette forme au corsage qui y est cousu, et à vous la grâce d'un vêtement à la fois souple et collant.

Si le caoutchouc que vous passez sous votre cou ne s'allongeait pas pour doubler le cap de votre menton, jamais vous ne réussiriez à l'y mettre. Mais s'il ne reprenait pas, après avoir passé sous votre menton, sa première longueur, il flotterait sur votre cou et ne retiendrait pas votre chapeau.

Enfin, si les ressorts de votre fauteuil, ou ceux du sommier, ne se relevaient pas après s'être écrasés sous le corps qui les charge, ils n'auraient détrôné ni les vieilles bergères garnies d'étoupes, dans lesquelles nos grand'mères disparaissaient, ni les paillasses, désespoir des malades dont on ne peut refaire le lit.

Vous le voyez, ma chère enfant, le point commun de ressemblance de tous ces objets si divers, c'est que tous, si on les déforme un peu, reviennent, dès que la cause de déformation cesse d'agir, à leur forme primitive.

C'est justement cette propriété qui constitue l'élasticité, et vous voyez qu'il est peu de corps qui ne soient plus ou moins élastiques.

Plus ou moins ; car de deux corps donnés, le plus élastique est celui qui a au plus haut degré la propriété de reprendre la forme qu'une cause quelconque lui a fait perdre. Qu'un maçon, par exemple, prenne sur sa truelle une charge de mortier et la lance contre un mur. Chacun sait que le mortier s'aplatira contre le mur et y restera collé sans reprendre aucunement sa forme. Ce mortier est à peu près dénué d'élasticité, tandis que, lancé contre le même mur par une main vigoureuse, le ballon gonflé d'air reprendra, aussitôt après le choc, sa forme de boule et s'éloignera du mur presque aussi vite qu'il y sera venu. Ce ballon est donc d'une élasticité à peu près parfaite.

Toutefois, si grande que soit l'élasticité d'un corps, elle a toujours une limite, et il faut avoir bien soin de ne pas la dépasser.

Si, par exemple, au lieu de monter tranquillement dans votre lit, il vous est arrivé (je l'ai vu faire à quelques fillettes de votre âge, et combien plus souvent aux petits garçons !) d'y sauter d'un bond à genoux, eh bien, ma chère enfant, vous avez risqué de dépasser l'élasticité de votre sommier. Si cet accident vous est arrivé, vous avez remarqué sur votre lit un trou, qui vous a fait dire : « Le sommier est cassé. » Vous vous trompiez, ma chère enfant, le sommier n'était pas cassé. Seulement votre saut l'avait tellement déformé, si profondément écrasé, qu'il n'a plus eu assez d'élasticité pour se relever. Vous aviez dépassé la limite d'élasticité.

Accident simplement regrettable, dans le cas de votre sommier, et qui quelquefois peut devenir terrible.

Bien longtemps avant votre naissance, car c'était, je crois, en 1849, une troupe de soldats passait, à Angers, sur un pont suspendu. Vous savez que, dans ces sortes de ponts, le tablier est suspendu par des fils de fer à de grands câbles qui vont d'un bord à l'autre de la rivière. De là leur nom de ponts suspendus. Or, à mesure qu'un fardeau, comme une charrette, par exemple, défile successivement vis-à-vis chacun des fils qui supportent le tablier, ce fil s'allonge, à la façon d'un fil de caoutchouc auquel vous suspendriez une bille. Mais aussitôt que le fardeau est passé, le fil de fer, en vertu de son élasticité, revient à sa longueur première, jusqu'au passage d'un nouveau fardeau.

Malheureusement, le jour où la troupe passait sur le pont d'Angers, les officiers oublièrent de faire rompre le pas. Sous l'action de ces chocs à chaque instant répétés, la limite d'élasticité fut bientôt dépassée, les fils cassèrent, et les malheureux soldats furent précipités dans le gouffre, où la plupart périrent d'une mort affreuse.

Mais je ne veux pas, ma chère enfant, allonger cet entretien jusqu'à dépasser, moi aussi, la limite d'élasticité de votre attention, et j'ai hâte d'arriver à la dernière propriété de la matière que je vous ai nommée, qu'on appelle l'inertie, et que vous connaissez déjà, sans vous en douter.

Vous vous êtes certainement amusée à regarder les messieurs descendre d'un omnibus en marche. Il y a trois manières, et probablement vous avez eu occasion de les observer toutes les trois.

Certains, de bons provinciaux (c'est heureusement le petit nombre), descendent gravement de l'omnibus en marche, comme ils feraient d'un

omnibus arrêté. Ceux-là, infailliblement, s'allongent dans la boue, la tête du côté de l'omnibus, et, s'ils sont descendus gravement, les voyageurs restés dans l'omnibus imitent rarement leur gravité.

D'autres, cramponnés à la rampe qui est derrière l'omnibus, la suivent en trottant cinq ou six pas. Ils évitent de tomber comme le premier, mais non de se crotter jusqu'à l'échine, pendant ce temps de pas gymnastique.

Les Parisiens pur sang, enfin, ceux à qui une longue habitude a appris la véritable recette, se laissent aller, le corps en arrière, sans se tenir. A les voir de profil, on croirait qu'ils vont tomber sur le dos. Point, ils se redressent aussitôt, et, sans poursuivre un seul pas la voiture à la course, s'éloignent tranquillement et en parfait équilibre.

Tâchons d'expliquer la mésaventure du premier, la prudence du second et l'habileté du troisième.

Dans l'omnibus, les corps de nos trois voyageurs participaient au mouvement de la voiture ; ils partageaient son élan. Or, la matière a la propriété de ne pouvoir d'elle-même ni se donner ni s'ôter le mouvement, et c'est précisément cette propriété-là qu'on appelle l'inertie.

Se donner le mouvement, je n'ai pas besoin de vous en fournir la preuve. Quand vous laissez votre presse-papier sur votre bureau, si vous ne l'y trouvez plus, votre première question est : Qui m'a pris mon presse-papier ? Il ne vous vient pas un instant à l'idée que le presse-papier soit parti tout seul. Mais que la matière ne s'ôte pas le mouvement toute seule, c'est ce qui peut vous paraître moins évident.

Les voyageurs de l'omnibus sont là tout justement pour en faire la preuve.

Le premier, qui est descendu gravement, comme d'un omnibus arrêté, a emporté avec lui l'élan, le mouvement qu'il partageait tout à l'heure avec la voiture. Quand ses pieds ont touché terre, le frottement du sol les a arrêtés net, pendant que le reste du corps du pauvre provincial, qu'au contraire rien n'arrêtait, continuait, bien malgré lui, à poursuivre l'omnibus. C'est cette poursuite qui l'a étendu dans la boue.

Le corps du second voyageur a bien, comme celui du premier, couru après l'omnibus dont il avait, grâce à l'inertie, conservé l'allure ; mais plus prudent, ce second voyageur a forcé ses pieds à suivre le mouvement du corps, à se placer sous lui pour le supporter, et, grâce à un temps de pas gymnastique, il a évité la chute de son naïf compagnon.

Enfin, le troisième était un malin qui connaissait à fond, au moins pratiquement, la propriété de la matière qu'on appelle l'inertie. En se penchant en arrière, comme s'il voulait tomber sur le dos, il savait bien que ce n'était pas dans ce sens-là qu'il risquait de tomber ; et quand je disais tout à l'heure : « Aussitôt il se redresse, » je m'exprimais fort mal : ce n'est pas lui qui se redresse : c'est l'inertie qui pousse dans le sens de l'omnibus le haut de son corps, d'abord penché en arrière, et lui permet de reprendre son équilibre sans tomber et même sans courir en avant. Ainsi le troisième voyageur a su se faire une amie de l'inertie qui s'était montrée si cruelle au premier.

Et c'est, ma chère enfant, toujours ainsi avec cette propriété de la matière ; funeste aux maladroits, elle vient en aide aux habiles.

Vous courez étourdiment et de toute votre vitesse droit sur un fossé bourbeux. N'espérez pas vous arrêter au bord. L'inertie vous précipitera au fond. Vous êtes dans la catégorie des maladroits.

Mais vous courez vers le même fossé avec l'intention de le franchir ; ah ! cette fois, vous voilà dans les habiles, car l'inertie, ajoutant à l'élan que vous vous donnez au bord du fossé celui que vous avez amassé dans votre course, vous permettra de franchir aisément une largeur que vous n'eussiez pas franchie de pied ferme. Vous avez su vous faire de l'inertie une alliée.

Vous allez.... Mais en vérité, ma chère enfant, je craindrais d'être moi-même victime de l'inertie des malhabiles, si je me montrais, maintenant que je suis lancé, incapable de m'arrêter. Je finis donc là cet entretien déjà long, mais non sans vous répéter : ma chère enfant, méfiez-vous de l'inertie ; ne descendez jamais d'un wagon sans qu'il soit complètement arrêté, et si jamais, ce qu'à Dieu ne plaise, vous vous trouviez dans une voiture emportée, eh bien ! ne sautez pas. Mieux vaut encore risquer de verser que de braver l'inertie qui, en pareille aventure, a tué net le duc d'Orléans et tant d'autres moins célèbres.

IV^e ENTRETEN

FORCES ET VITESSES

Quand vous vous êtes couchée, hier soir, il y avait là, sous vos fenêtres, ma chère enfant, un bateau amarré dans la rivière. Il n'y est plus. Il faut donc qu'on l'ait emmené ; car la rivière n'a pas de courant, et un bateau ne s'y déplace pas plus tout seul que votre presse-papier sur votre table.

On l'a donc emmené : mais qui ? — Qui ? Cela nous est bien égal ; son propriétaire, sans doute. Mais comment ? Voilà qui nous intéresse davantage.

Peut-être sont-ce des hommes qui l'ont halé. Peut-être aussi y a-t-on attelé des chevaux. Il se peut que ce soit le vent, si le bateau était à voiles. Enfin, c'est peut-être la vapeur.

Mais que ce soient des hommes ou des chevaux, le vent ou la vapeur, c'est toujours la même cause qui a produit le mouvement du bateau. C'est la force des hommes ou la force des chevaux, ou la force du vent, ou la force de la vapeur, mais c'est toujours une force, et c'est à cela que je voulais en venir : Puisque les corps ne se donnent à eux-mêmes ni ne s'ôtent le mouvement, il faut bien qu'une cause le leur donne ou le leur ôte ; c'est cette cause qu'on appelle une force.

Cette force ne s'aperçoit pas toujours à première vue, surtout quand c'est une force qui ôte à un corps son mouvement. Mais elle n'en existe pas moins pour cela. Si, par exemple, la boule que vous lancez avec votre maillet quand vous jouez au croquet, ne continue pas à rouler indéfiniment, ce n'est pas qu'elle s'ôte le mouvement à elle-même. Ce qui le lui ôte, c'est la résistance des objets qu'elle heurte en chemin, c'est-à-dire une force. Et la preuve, c'est que si cette résistance est grande, ce qui arrive quand le terrain est couvert de gravier, votre boule s'arrête plus tôt que lorsque la résistance est petite, comme quand vous jouez sur un gazon uni ou, mieux encore, sur une aire bien battue.

Vous voilà donc, ma chère enfant, en pleine mécanique, et aussi capable de définir une force que le premier beau bachelier ès sciences venu.

Une force, direz-vous, est la cause qui donne ou ôte le mouvement aux corps.

Voilà qui est bien ; mais vous devez apercevoir tout de suite qu'une force peut agir pour cela de deux manières entièrement différentes.

Tenant, par exemple, votre cerceau de la main gauche et votre baguette de la droite, vous donnez au cerceau un bon coup de baguette et vous l'abandonnez à lui-même. Vous l'avez mis en mouvement ; votre coup de baguette a été cause de mouvement ; votre coup de baguette est une force.

Reprenant ensuite votre cerceau, vous le frappez de votre baguette comme tout à l'heure. Mais au lieu de l'abandonner à lui-même, vous laissez la baguette appuyée au cerceau que vous ne cessez de pousser en l'accompagnant dans sa course. Cette poussée est, comme le coup de tout à l'heure, cause de mouvement ; comme le coup, cette poussée est une force. Mais, tandis que le coup, après avoir rapidement, instantanément agi sur le cerceau pour le lancer, l'a ensuite abandonné à lui-même, la poussée a continué d'agir sur lui après l'avoir lancé, si bien que, si l'on vous demandait de donner un nom à chacune de ces deux forces, le choc instantané qui a lancé votre cerceau la première fois, ou la poussée qui, la seconde fois, a continué à accompagner le cerceau déjà en mouvement, je vous conseillerais, ma chère enfant, d'appeler force instantanée la première, et la seconde : force continue.

Vous allez me dire : à quoi bon distinguer ces deux forces par des noms différents ? N'ont-elles pas toutes deux le même effet ? Ne produisent-elles pas toutes deux du mouvement ?

Sans doute, puisque toutes deux sont des forces. Mais il y a mouvement et mouvement, comme il y a fagot et fagot, et vous l'allez bientôt comprendre, si vous voulez faire avec moi un peu d'école buissonnière.

Quand on dit qu'un train marche avec une grande vitesse, savez-vous ce qu'on veut dire ?

— Sans doute, cela signifie que le train va très..... Comment dirais-je ? Je ne peux pourtant pas dire très..... vite, mais tout le monde comprend bien ce que c'est que la vitesse d'un train !

— Tout le monde le comprend à peu près, sans doute, mais je ne suis pas de votre avis et ne crois pas que tout le monde le comprenne bien. Par exemple, vous, mon enfant, avez-vous une idée de ce qu'est, en général, la vitesse d'un train ?

— Je crois qu'elle est à peu près de dix lieues à l'heure.

— Va pour dix lieues à l'heure. Alors, selon vous, pour indiquer à quelqu'un quelle est la vitesse d'un train, il faut lui dire combien de lieues ce train parcourt dans une heure ?

— Sans doute.

— Et vous avez raison. Mais si, au lieu de vous dire combien de lieues un train parcourt, on vous disait combien de kilomètres, ou de mètres, ou de toises ?...

— Oh non, pas de toises. Les toises ne me diraient rien ; je ne connais pas cette longueur.

— Très bien. La longueur qui sert à mesurer le chemin parcouru vous est donc indifférente, pourvu que vous la connaissiez. Mais est-il nécessaire qu'on vous dise le nombre de lieues, ou de kilomètres, ou de mètres, parcourus dans une heure ?

— Oh ! dans une heure ou dans une minute, cela m'est bien égal....

— Oui, mais toujours dans un espace de temps connu, n'est-il pas vrai ? Eh bien, ma chère enfant, s'il est des personnes qui n'ont de la vitesse qu'une idée vague, je vois avec plaisir que vous n'êtes pas de ces personnes-là, et vous me donnez le courage de vous faire connaître la vraie définition de la vitesse, celle des savants.

Ou plutôt je me trompe, et c'est vous qui l'avez trouvée toute seule :

La vitesse du train, avez-vous dit, c'est le nombre de lieues..., ou de kilomètres..., ou de mètres, etc..., que ce train parcourt en une heure... ou une minute... ou une seconde, etc...

Et moi je vous dis :

La vitesse d'un corps en mouvement (les savants appellent cela un mobile), la vitesse donc d'un mobile, c'est le chemin (ou l'espace) qu'il parcourt dans l'unité de temps.

Ma définition n'est-elle pas exactement la même que la vôtre ? Malheureusement vous n'êtes pas au bout de vos peines, ni moi non plus, car ce qui me reste à vous dire est le plus difficile.

Dire en effet la vitesse d'un train qui fait toujours dix lieues à l'heure, le plus simple en serait capable. Mais supposez que le mécanicien du train de Paris à Versailles, par exemple, pris d'un accès subit de folie, s'amuse à chauffer de plus en plus sa machine, et qu'en conséquence le train se mette à courir de plus en plus vite. Comment répondrez-vous, quand il arrivera à Versailles, à cette question : Quelle a été la vitesse du train ?

Évidemment il faudrait changer la question et demander : Quelles ont été, entre Paris et Versailles, les vitesses du train ? Et encore à cette question ainsi posée, seriez-vous bien en état de répondre ?

Non, car si la vitesse est le chemin parcouru dans l'unité de temps, encore faut-il que, pendant une unité, si petite qu'elle soit, la vitesse reste toujours la même ; c'est-à-dire que si, par exemple, nous regardons le train filer devant nous, ne fût-ce que pendant une seconde, le chemin qu'il aura parcouru dans la première moitié de cette seconde, soit le même que celui qu'il a parcouru dans la seconde moitié. Or ce n'est malheureusement pas ce qui arrive, puisque notre fou de mécanicien chauffe à chaque instant davantage et, par suite, file aussi à chaque instant plus vite. Je désirais pourtant bien savoir quelle était la vitesse du train quand il est passé à Meudon.

Et je l'aurais assurément désiré en vain si, précisément en passant à Meudon, il n'était arrivé un accident qui a probablement sauvé la vie aux voyageurs, et à moi l'ennui de chercher un problème sans parvenir à le résoudre.

Ecoutez bien ceci, ma chère enfant, car quand je vous aurai dit l'accident, c'est vous que je prierai d'en tirer les conséquences.

Donc, au moment même où le train passait, comme la foudre, devant Meudon, le mécanicien a perdu l'équilibre. Il s'est, pour se retenir, accroché au levier qui ouvre et ferme l'arrivée de la vapeur, et le bonheur a voulu que, lorsqu'il est tombé (sans se faire aucun mal, rassurez-vous !), l'arrivée de la vapeur se trouvât fermée. C'est ici que je vous prie de réfléchir, et de me dire ce qui a dû arriver au train ?

— Le train ? mais je ne sais trop, il n'a pas dû continuer à accélérer sa marche ?

— Assurément non, puisque la machine ne recevait plus de vapeur, c'est-à-dire de force, et que, sans force, un corps ne se donne pas de mouvement. Mais l'aura-t-il ralenti ?

— Pas davantage, puisque, sans force, les corps ne s'ôtent pas plus qu'ils ne se donnent leur mouvement.

— Eh bien alors, ma question sur la vitesse du train à Meudon.. ?

— Devient bien facile, car je n'ai qu'à laisser filer le train pendant une seconde et mesurer l'espace qu'il a parcouru. Si je trouve, par exemple, qu'en une seconde il a fait 40 mètres, comme la vitesse ne changera pas désormais, puisqu'il n'y a plus de force, il sera facile de conclure que le

train fera en une minute soixante fois plus de chemin ou 2400 mètres, et en une heure soixante fois plus ou 144 000 mètres, ou 144 kilomètres, ou 36 lieues.

— C'est très bien raisonné, ma chère petite, et vous avez très bien calculé cette jolie vitesse qui montre qu'il était temps que le mécanicien se laissât choir, car j'aurais plaint les voyageurs si elle s'était accélérée encore. Mais la foi que vous avez montrée à l'inertie en répondant résolument que le train ne se ralentirait plus, du moment où l'entrée de la vapeur était fermée, mérite que je n'abuse pas de votre confiance, en laissant dans votre esprit l'ombre d'une idée fausse.

En réalité, le train se ralentirait et finirait par s'arrêter, et en vérité ce serait trop commode si, pour faire rouler un train, il suffisait de le lancer une fois et de le laisser ensuite à lui-même sans plus s'en occuper et sans nouvelle dépense de charbon. Mais son ralentissement et son arrêt ne me forcent à retirer rien de ce que je vous ai dit de l'inertie et des forces. Car s'il finit par s'arrêter, ce n'est pas que la matière puisse, sans force, s'ôter à elle-même le mouvement ; c'est au contraire qu'il existe une force, le frottement des roues sur les rails, qui peu à peu ralentit, et à la fin arrête tout à fait le train que ces roues portent.

Il en est d'elles comme de votre boule de croquet, que les aspérités du sol arrêtent. Pour être moins apparentes que celles du sol, les aspérités des rails n'en existent pas moins ; elles engrènent pour ainsi dire dans celles des roues et finissent par les arrêter.

Si unies, si polies que soient les pièces des machines fabriquées par les hommes, il est impossible d'y supprimer complètement ces aspérités. Et c'est pourquoi nos machines les plus parfaites finissent toujours par s'arrêter, comme le train de notre histoire. Dès que nous employons une force à vaincre l'inertie de la matière et à produire un mouvement, les frottements, qui sont eux aussi des forces, se mettent en œuvre pour détruire ce mouvement, et c'est pourquoi aussi, lorsqu'un mécanicien viendra se vanter devant vous d'avoir inventé le mouvement perpétuel, vous pourrez hardiment affirmer que vous avez affaire ou à un ignorant ou à un fou. Il n'y a pas un asile d'aliénés dont un ou deux pensionnaires n'aient inventé le mouvement perpétuel. Et, puisque tout de même nous avons si bien fait l'école buissonnière qu'il m'est impossible de finir dans cet entretien ce que j'ai à vous dire sur les forces, nous allons le terminer en insistant sur ces résistances, qui, méconnues, peuplent la maison de santé d'inventeurs du

mouvement perpétuel, et que bien des gens, qui se croient plus sages, n'ont jamais songé à remercier des services qu'elles leur rendent tous les jours.

Oui, de grands services dont vous ne vous doutez pas. Et d'abord, sans sortir des chemins de fer, c'est le frottement qui permet aux locomotives de courir sur les rails. La vapeur, en effet, fait tourner les roues de la locomotive. Mais de quoi servirait-il que les roues tournent, si elles ne trouvaient pas de quoi prendre appui sur les aspérités des rails ? Elles tourneraient sur elles-mêmes sans avancer, et la preuve, c'est que lorsque la gelée rend les rails plus glissants, quand elle en efface à peu près les aspérités, les trains restent en détresse sur leurs roues, qui tournent en vain sur place. Les chauffeurs disent alors que la locomotive patine, expression très juste qui me conduit, ma chère enfant, à vous montrer un autre bienfait encore plus grand du frottement.

Vous êtes-vous quelquefois trouvée dehors, lorsque, après un grand froid qui a gelé profondément la terre, une petite pluie fine vient y étendre un mince tapis de verglas ? Si oui, je n'ai qu'à finir ici mon entretien, car vous savez aussi bien que moi combien le frottement est indispensable à la marche. Qu'il soit supprimé par le verglas, et au premier pas que vous faites, le pied qui est en avant glisse en avant, le pied qui est en arrière glisse en arrière, et vous vous écartelez.

Que faut-il pour prévenir ces accidents ? Vous voyez, les jours de verglas, les ménagères étendre des cendres devant leurs portes, et rendre ainsi au sol les aspérités sans lesquelles les passants se casseraient le cou. Ces aspérités arrêtent leurs pieds en train de glisser, comme les aspérités des rails finiront bien par arrêter le train qui a parcouru devant vous, à Meudon, 40 mètres par seconde. Mais vous n'en avez pas moins justement mesuré sa vitesse à Meudon, car ce n'est pas en une seconde que le ralentissement a pu être sensible. Ce que vous avez mesuré, c'est donc bien le chemin que ce train aurait fait en chaque seconde s'il avait continué indéfiniment à marcher comme il marchait à Meudon, et c'est précisément là la vitesse qu'il avait quand il est passé à Meudon.

Mais cette idée est assez importante pour que nous y insistions, et je vais, ma chère enfant, faire comme le feuilletoniste, et renvoyer la suite au prochain numéro.

V^e ENTRETEN

LA DIRECTION, LE POINT D'APPLICATION ET L'INTENSITÉ

Je vous avais, ma chère enfant, proposé un brin d'école buissonnière ; mais nous l'avons faite si complète, que, du train de Meudon aux dangers du verglas, en passant par les inventeurs du mouvement perpétuel, j'ai peur que nous n'ayons un peu emmêlé le fil qui, comme le fil d'Ariane, devait nous servir à sortir du labyrinthe.

Faisons un moment de halte, et tâchons de nous reconnaître.

Nous cherchions à expliquer ce que c'est que la vitesse, et nous avons reconnu que c'est facile quand le mobile, pour emprunter aux savants leur langage, va toujours d'un pas égal, uniforme, ou, comme ils disent encore, quand il est animé d'un mouvement uniforme.

Dans ce cas, la vitesse, c'est l'espace parcouru dans l'unité de temps.

Nous avons vu aussi que ce mouvement uniforme est produit par une force instantanée, qui, après avoir lancé le mobile, l'abandonne à lui-même et à l'inertie ; c'est le cas du cerceau lancé d'un bon coup de baguette, et dont vous ne vous occupez plus, après l'avoir lancé.

Mais quand, après l'avoir lancé, votre baguette continue à appuyer sur le cerceau et à le pousser en avant, il est clair qu'à chaque instant, à l'élan qu'il devait à la première poussée, et que l'inertie lui faisait conserver, une nouvelle poussée vient ajouter un nouvel élan, et faire varier sa vitesse. Le cerceau se trouve alors dans le cas du train que ce fou de mécanicien surchauffait jusqu'à lui faire prendre le mors aux dents, et nous voyons que si les forces instantanées produisent le mouvement uniforme, les forces continues sont causes de cette espèce de mouvement qui varie à chaque instant, et que, pour cette raison, on appelle mouvement varié.

Quant à la vitesse du mouvement varié, l'accident arrivé au chauffeur à Meudon nous a permis de la mesurer une fois, et, si vous voulez bien réfléchir à cet accident, il vous sera facile de le reproduire ou de l'imaginer

dans tous les mouvements variés, et par suite de mesurer la vitesse de tous les mouvements variés.

En quoi a consisté en effet l'accident du chauffeur ? En tombant, il a arrêté l'entrée de la vapeur, et le train, abandonné à lui-même et à l'inertie, a continué de marcher, non plus cette fois d'un mouvement varié, mais d'un mouvement uniforme ; non plus en augmentant à chaque instant sa vitesse, mais au contraire en conservant toujours la même vitesse et précisément celle qu'il avait à Meudon, c'est-à-dire précisément celle que nous désirions connaître.

De même, si, pendant que votre cerceau, poussé par la pression continue de votre baguette, et, par conséquent, accélérant à chaque instant sa vitesse, fuit devant vous sur une route bien unie, il vous prend fantaisie de savoir quelle est à un moment donné sa vitesse, qu'avez-vous à faire ? Lâchez la baguette ; laissez le cerceau courir tout seul et d'un mouvement uniforme pendant une seconde, et mesurez le chemin qu'il a fait dans cette seconde. Ce chemin sera la mesure de la vitesse que vous vouliez connaître.

Quel que soit le mouvement varié dont vous désiriez connaître la vitesse, opérez de même. Puisque ce qui produit le mouvement varié c'est une force, faites cesser l'action de la force : vous verrez aussitôt au mouvement varié succéder un mouvement uniforme, et c'est la vitesse de ce mouvement uniforme qui représentera celle du mouvement varié, au moment où la force qui le produisait a cessé d'agir.

Ouf ! C'est moi, ma chère enfant, qui ne dois pas vous sembler varié, avec mes trains et mes cerceaux ! Encore si je vous avais tout dit sur les forces !

Mais point, et je m'aperçois que j'ai oublié bien des choses.

J'en ai oublié au moins trois, et un petit conte va vous faire juger de leur importance.

Un jeune garçon, se promenant avec son précepteur, heurta une pierre et tomba sur le nez.

Quand le précepteur le ramena tout saignant : « Monsieur, lui dit le père, ne pouviez-vous, quand cet enfant a trébuché, le retenir ? Il n'est pas si lourd, et une simple poussée y aurait suffi. »

Ce précepteur, né bourgeois de Falaise, n'avait pas d'initiative, mais il était docile, et il répondit poliment : « Monsieur, une autre fois je n'y manquerai pas. »

Lé lendemain, en passant au même endroit, l'enfant trébucha à la même pierre, et le voilà de nouveau les mains et aussi le nez en avant. Aussitôt mon gouverneur de Falaise, se souvenant qu'on lui a dit : « Pour le retenir une simple poussée aurait suffi, » arrive par derrière, et les deux mains dans le dos de son élève, le pousse en avant de toute sa force. Vous pensez bien qu'il n'en tomba que plus rudement.

Quand il le ramassa, encore plus saignant que la veille : « Monsieur, lui dit le père, vous n'auriez pas failli assommer mon fils, si vous aviez su ce que c'est que la direction d'une force. C'est d'avant en arrière, non d'arrière en avant, qu'il fallait diriger la vôtre pour empêcher mon fils de tomber en avant. »

J'ai dit que M. le précepteur, s'il manquait d'initiative, ne manquait pas de docilité. Aussi, se borna-t-il à répondre : « Monsieur, une autre fois je m'en souviendrai. »

Il s'en souvint en effet, car le jour suivant le jeune garçon ayant encore trébuché à la même pierre, il se précipita à son secours, bien résolu cette fois à le pousser d'avant en arrière, comme le père le lui avait recommandé.

C'est ce qu'il fit, mais il eut la malheureuse idée de le pousser avec la jambe au lieu de le pousser avec la main, et cette poussée s'exerçant à la hauteur des pieds du jeune homme, lui donna un si solide croc-en-jambe, qu'il serait tombé, quand même la pierre ne lui aurait pas déjà fait perdre l'équilibre.

Il ramena, tout penaud, l'enfant qui saignait de plus belle ; mais le père lui dit d'un ton résigné :

« Monsieur, c'est ma faute ; j'aurais dû vous avertir que dans une force il faut, outre sa direction, considérer son point d'application, c'est-à-dire le point où elle agit. C'est à la poitrine de mon fils, non à ses jambes, qu'il fallait mettre le point d'application de la vôtre. Ainsi vous l'auriez retenu. »

« Monsieur, dit humblement le précepteur, je ne l'oublierai pas. »

Le lendemain le précepteur conduisit de nouveau son élève à la promenade, et, quand ils arrivèrent à la pierre qui était une si terrible pierre d'achoppement, il se tint si bien sur ses gardes, que lorsque le jeune homme trébucha, il lui appliqua résolument ses deux larges mains sur la poitrine. Alors, répétant en lui-même la leçon du père, il poussa vigoureusement le jeune homme d'avant en arrière. Si vigoureusement, qu'hélas non seulement il l'empêcha de tomber en avant sur le nez, mais encore l'envoya tomber à la renverse sur la tête.

On le rapporta sans connaissance. Quand il eut repris ses sens :

« Monsieur, dit le père, j'avais oublié de vous dire qu'outre le point d'application et la direction, il faut encore, dans une force, avoir égard à l'intensité. Dieu soit loué, vous n'avez pas tout à fait tué mon fils, mais comme on ne peut savoir ce qui arriverait la prochaine fois, j'aurai le regret de me priver de vos services. »

Le précepteur s'inclina, et comme, cette fois, il connaissait des forces tout ce qu'il en faut connaître, je veux dire :

Le point d'application,

La direction,

Et l'intensité,

il alla ouvrir, à l'usage des bourgeois de Falaise, ses compatriotes, un cours de mécanique qui a, dit-on, beaucoup de succès.

VI^e ENTRETIEN

COMPOSANTES ET RÉSULTANTES

Composantes et Résultantes. Quels grands mots, ma chère enfant ! n'en ayez pas peur, cependant. Vous allez voir que ce que ces grands mots expriment n'est pas aussi rébarbatif que les mots eux-mêmes.

Pendant le voyage que nous avons fait ensemble au pays des étoiles, je vous fis un jour tirer, votre amie Marthe et vous, sur les deux poignées de votre corde à sauter. Pendant que vous vous escrimez l'une et l'autre : « Est-ce vous, vous demandai-je, qui tirez Marthe ? Ou Marthe qui vous tire ? » Et je vous dis moi-même : « Un coup de ciseaux au milieu de la corde vous ferait bientôt voir que chacune de vous tire également l'autre.... Car ce n'est pas l'une de vous, mais toutes les deux, qui iriez mesurer la terre ². »

Ainsi, ma chère enfant, vous tiriez sur la corde, — et votre traction était une force. — Marthe tirait sur la même corde, et sa traction était une autre force. — Et cependant... la corde ne bougeait pas. Et cependant nous avons dit qu'une force est la cause qui produit le mouvement. Comment expliquer cette immobilité de la corde ?

C'est qu'une force n'est pas seulement la cause qui produit, mais encore la cause qui détruit le mouvement. C'est que, ce qu'une force fait, une autre force peut le défaire ; c'est que, pendant que votre force tendait à faire mouvoir la corde, de Marthe à vous, la force de Marthe tendait à la faire mouvoir de vous à elle ; si bien que, votre force et celle de Marthe se trouvant égales et opposées, ni l'une, ni l'autre n'a pu produire l'effet qu'elle tendait à produire. Elles se sont annulées ; mettons détruites, et nous parlerons comme les géomètres, qui disent que deux forces égales et directement opposées se détruisent.

A vrai dire, le bon sens de tout le monde avait trouvé cette loi avant que la science des géomètres l'eût formulée ; vous n'avez assurément jamais vu de charretier qui, ayant deux chevaux, en attelle un devant, l'autre derrière sa charrette, se tournant le dos, pour mieux la faire marcher.

En revanche, vous en avez vu beaucoup qui, trouvant leur charrette trop lourde pour un cheval, y en attellent deux l'un devant l'autre, ou l'un à côté de l'autre, et prouvent ainsi qu'ils savent à merveille que les forces des deux chevaux s'ajoutent, se composent, et que, de cette composition, il résulte que la charrette se meut absolument comme si, au lieu de deux chevaux, il en avait attelé un, aussi fort à lui seul que les deux ensemble.

Eh bien ! ces forces, qui se réunissent pour que de leurs actions composées résulte le même effet que celui que produirait une seule force égale en puissance à toutes les autres réunies, ce sont celles qu'on nomme les Composantes, et la force unique qui les remplace toutes, c'est la Résultante, et voilà nos expressions rébarbatives devenues moins rébarbatives, depuis qu'elles sont expliquées.

Voici, par exemple, une grande poutre que traînent une bande de garçonnets attelés à des cordes dont chacune s'attache à un crochet planté dans la poutre : Si, en attelant un cheval au bout d'un câble attaché au milieu de la poutre du côté opposé aux petits garçons, le cheval arrête la poutre, mais sans parvenir à la faire reculer, c'est que la force du cheval vaut, à elle seule, les forces réunies des petits garçons. Les forces des garçons sont les composantes : celle du cheval en est la résultante.

Quant à expliquer comment, quand on connaît plusieurs forces, on trouve celle qui pourrait, à elle seule, les remplacer toutes, ou, pour lui donner maintenant son vrai nom, leur résultante, c'est affaire aux géomètres, non aux fillettes. Aussi, ma chère fillette, sans même l'essayer avec vous, je vais passer à une question plus pratique et, je l'espère, plus intéressante.

VII^e ENTRETIEN

LA PESANTEUR ET LA VERTICALE

Depuis Icare, de mythologique et tragique mémoire, les hommes ont considéré comme un très enviable privilège celui de s'enlever dans les airs. Il n'est pas de poète qui n'ait adressé aux nuages quelques lyriques apostrophes pour leur demander où ils vont et d'où ils viennent, et surtout pour les prier de les emporter sur leurs ailes. Mais aucun nuage n'a exaucé la prière d'aucun poète, et les Parnassiens, tout comme les épiciers, sont restés et resteront attachés à la glèbe, sans espoir qu'aucun 89 vienne jamais abroger la loi qui les y rive.

Cette loi s'appelle la Pesanteur, et, quoique fort antérieure à 1789, il n'en est pas devant laquelle toutes les créatures de l'univers soient plus égales.

Oui, les êtres animés et les inanimés ; le rhinocéros et l'hirondelle, le duvet que le vent emporte et l'argile visqueuse que fend avec effort le soc de la charrue ; les lourds marteaux-pilons que soulèvent à peine les plus puissantes machines :

Et ces nuages purs qu'un jour mourant colore,
Et qu'un souffle léger, du couchant à l'aurore,
Roule en flocons de pourpre aux bords du firmament,

tous ces corps si divers obéissent également à la loi universelle, qui est ainsi rédigée dans le code éternel de la nature :

Tous les corps tendent à tomber vers la terre.

Pourquoi ? Je vous l'ai déjà dit : Ne me demandez jamais pourquoi ; je ne pourrais pas vous répondre.

Comment ? j'essaierai de vous le dire. Et d'abord : également. — Oh ! n'ouvrez pas ainsi les yeux ; ne levez pas les sourcils avec cet air de doute. J'ai bien dit « également », et vous avez bien entendu.

— Quoi ! ce palet de plomb qui m'a fait un bleu en me tombant sur le pied, et cette plume que le moindre souffle emporte, vous voudriez prétendre....

— Oui, mademoiselle, je voudrais prétendre que la pesanteur agit sur eux également, et que, lâchés ensemble à la même hauteur, il ne leur faudrait pas plus de temps à l'un qu'à l'autre pour arriver à terre si l'un des deux ne trouvait un support qui manque à l'autre pour, amortir et ralentir sa chute.

Au surplus, voici deux expériences que vous pouvez faire sans frais et sans appareil :

Vous admettez bien, n'est-il pas vrai, que deux pièces de cinq francs absolument pareilles tendent également à tomber vers la terre ? Laissez-les cependant tomber à la fois et de la même hauteur, l'une dans un vase plein d'eau, l'autre hors du vase. Vous verrez celle qui tombe dans le vase arriver au fond longtemps après l'autre.

Pourquoi ? Parce que l'eau l'a soutenue, a ralenti sa chute.

Et maintenant découpez avec des ciseaux un cercle de papier un peu plus petit qu'une pièce de cinq francs, et laissez-le tomber à côté de la pièce et de la même hauteur ; vous allez voir le papier se dandiner en l'air, comme faisait tout à l'heure la pièce de cinq francs dans l'eau, et arriver à terre longtemps après la pièce. Ne trouvez-vous pas que les deux phénomènes sont identiques, et n'est-il pas évident que si le cercle de papier arrive après la pièce, c'est qu'il est soutenu par l'air, qui ralentit sa chute, absolument comme tout à l'heure la pièce était soutenue par l'eau ?

Fig. 1.



Mais, si vous en doutiez encore, voici qui achèverait de vous convaincre : Placez le cercle de papier sur la pièce, de manière qu'il ne déborde d'aucun côté, et laissez tomber le tout. Cette fois, l'air ne peut plus soutenir le papier, puisqu'il est chassé devant lui par la pièce. Aussi voyez... la pièce et le papier viennent d'arriver à terre en même temps.

Par la fenêtre du cabinet de physique autour duquel nous nous promenons, et qu'on a oublié de fermer, voyez-vous ce grand tube de verre (fig. 1), d'environ deux mètres de long, où sont renfermés un petit morceau de papier, une plume, une balle de liège, une balle de plomb ? C'est Galilée qui l'a inventé, le même qui affirma le premier que la terre tournait (je vous ai autrefois conté cette histoire). Et voici pourquoi il l'a inventé :

Quand, après avoir ramené tous les objets renfermés dans le tube à l'une de ses extrémités, on le retourne brusquement, on voit arriver au fond, d'abord la balle de plomb, puis bientôt, à intervalles inégaux, le liège, le papier, la plume, comme les Curiaces dans Corneille :

Chacun le suit d'un pas, ou plus ou moins pressé,
Selon qu'il se rencontre, ou plus ou moins..... léger.

On recommence alors la même expérience, mais après avoir au préalable ôté tout l'air qui remplissait le tube (je vous dirai plus tard comment on s'y prend), et alors plume et plomb, liège et papier, tout arrive au fond à la fois.

Ainsi donc, ma chère enfant, voilà qui est bien entendu ; tous les corps tomberaient, s'ils étaient dans le vide, avec la même vitesse.

Mais, tomber, que veut dire ce mot ? Il est bien vague. J'entends bien qu'un corps qui tombe se précipite vers la terre ; mais suivant quelle direction ? Un oiseau qui se pose après avoir longtemps rasé le sol, une pierre lancée par la main d'un écolier qui fait des ricochets, arrivent aussi à terre, et dans des directions bien différentes de celle d'une pierre que vous tenez entre vos doigts et que vous abandonnez à elle-même en les ouvrant.

C'est à cette dernière que s'applique le mot « tomber » ; c'est elle qui dessine en l'air la direction de la pesanteur. Si à cette pierre était fixé un pinceau imbibé d'encre, ce pinceau pourrait tracer le long d'un mur la vraie direction de la pesanteur.

Mais il n'est pas besoin de cet appareil compliqué : suspendez simplement la pierre au bout d'une ficelle, et laissez-la pendre librement ; la ficelle conservera la trace de la chute. C'est elle qui marquera la direction de la pesanteur.

Et cette direction, savez-vous, ma chère enfant, comment on l'appelle ? Oh ! on l'appelle trop souvent d'un faux nom : Perpendiculaire. Les romanciers ne s'en font faute : « Comme il passait sous cette fenêtre, un billet, attaché à une pierre, tomba à ses pieds perpendiculairement. »

Ce mot est impropre. C'est verticalement qu'il faut dire, et la direction de ce fil au bout duquel nous avons suspendu une pierre (fig. 2), une balle de plomb, et que, pour cette raison, on appelle fil à plomb. C'est la verticale.

Il n'est pas d'instrument dont on se serve plus souvent dans l'industrie que ce fil à plomb. C'est lui qu'emploient les ouvriers chaque fois qu'ils veulent s'assurer si une direction est verticale.

Fig. 2.



Quand un maçon élève un mur, vous le voyez de temps en temps laisser le long de ce mur pendre son fil à plomb, et vérifier de l'oeil si la ficelle est partout également éloignée du mur. De même pour le charpentier, pour le menuisier, qui doivent placer verticalement, l'un ses pièces de charpente, l'autre ses portes et ses fenêtres. L'usage du fil à plomb est si fréquent chez les ouvriers, qu'au mot vertical la plupart ont substitué le mot aplomb. Ce mur est d'aplomb, ce poteau n'est pas d'aplomb, cette colonne a perdu son aplomb.

Dites donc, mon enfant, aplomb si vous voulez, en même temps que verticale, mais ne dites jamais dans ce sens perpendiculaire, qui a une tout autre acception.

Je vous l'ai déjà fait connaître quand nous avons fait ensemble un « voyage au pays des étoiles », et je vous ai dit alors que la verticale est perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles, c'est-à-dire à l'horizontale, et par conséquent fait avec cette surface un angle droit³. C'est sans doute pour cela que les gens du monde ont retenu de cette définition le mot seul de perpendiculaire et ont pris l'habitude de l'employer tout de travers.

C'est, j'espère, ce que vous, mon enfant, ne ferez jamais, et, pendant que je suis à faire la guerre aux locutions vicieuses des gens du monde.... Mais celle à laquelle je songe nous entraînerait trop loin, J'aime mieux la réserver pour un prochain entretien.

VIII^e ENTRETIEN

LE CENTRE DE GRAVITÉ

Un passant, en montant sur le trottoir, trébuche : il lève les bras, fait, plus vite qu'il ne veut, quelques pas en avant, et finalement s'étend tout de son long. Il se trouvera certainement auprès de lui quelqu'un pour dire : « Le pauvre homme a perdu son centre de gravité. »

Ou bien si, au contraire, après avoir été tout près de tomber, le passant réussit à se remettre sur ses jambes : « Il a retrouvé, dira l'autre, son centre de gravité. »

Et dans les Femmes savantes, quand le valet, Lépine, se laisse tomber, cette sotte de Bélise se hâte de lui expliquer pourquoi il est tombé :

De ta chute, ignorant, ne vois-tu pas les causes ?
Et qu'elle vient d'avoir, du point fixe, écarté
Ce que nous appelons centre de gravité ?

Qu'est-ce donc que ce centre de gravité qu'on perd, qu'on retrouve. qu'on écarte du point fixe ? Ceux qui le perdent, le retrouvent ou l'écartent seraient bien embarrassés de le dire. Je tâcherai de vous rendre là-dessus un peu plus savante que Bélise.

Mais il faut d'abord que nous fassions avec la pesanteur plus ample connaissance.

La pesanteur est une espèce de fée, qui commande à une armée innombrable de petits lutins, dont le plaisir est de tirer les corps vers la terre, comme dans certaines fresques naïves des vieilles églises, on voit un diabolin moqueur se suspendre à la queue du compagnon de saint Antoine.

Chaque molécule, chaque atome a son lutin qui, par un fil invisible, jour et nuit, constamment, sans trêve ni repos, tire, tire, s'en donnant à cœur joie,

comme s'il ne devait être heureux qu'après avoir fait tomber sa molécule ou son atome.

Ces lutins, fort amis entre eux, s'associent pour entraîner les corps vers la terre ; autant un corps compte de points (et qui pourrait les compter ?), autant il a à ses troupes de lutins acharnés à sa chute.

Ne croyez pas, si vous posez le corps sur un support solide, que les lutins suspendent pour cela leur action ; non : leurs fils imperceptibles passent à travers le support, qui, alors, se trouve tiré non seulement par les lutins attachés à ses propres molécules, mais encore par ceux qui s'acharnent sur le corps à qui il prête asile.

N'espérez pas non plus prendre jamais leur vigilance en défaut : Voici six cents ans que cette voûte a été bâtie. L'architecte en a si bien taillé la clef, que, depuis six cents ans, elle a défié tous les efforts des petits lutins qui la tirent. Mais le temps a rongé ses bords, le ciment s'est détaché peu à peu, et un beau jour la voûte, qu'on croyait éternelle, s'écroule avec fracas sous l'effort des invisibles et patients ministres de la pesanteur.

Enfin il importe peu à ces malins petits trilbys que les molécules qu'ils tirent soient ou non agglomérées pour faire un corps. Brisez le corps ; quel que soit le nombre des fragments, écrasez-le ; quelque impalpable qu'en soit la poussière, tous ces fragments, tous ces grains de poussière, abandonnés à eux-mêmes, tomberont comme tombe le corps tout entier.

Remarquez bien, ma chère enfant, que ce n'est pas un conte que je vous fais là. Il est vrai que je n'ai jamais vu ni les lutins ni leurs ficelles ; mais j'ai vu, et vous aussi, les corps se conduire, sous l'influence de la pesanteur, exactement comme ils se conduiraient si un fil invisible tirait vers la terre chacune de leurs molécules, et je ne fais, en vous présentant les lutins de la pesanteur, que remonter des effets aux causes.

Et maintenant, souvenez-vous que plusieurs forces parallèles qui agissent dans le même sens peuvent toujours être remplacées par une seule force égale à leur somme et qui est leur résultante ; que si une cinquantaine d'enfants, ayant, de distance en distance, attaché à une longue poutre leurs cinquante cordes à sauter, marchent bien alignés en traînant la poutre, je peux remplacer les cinquante cordes par un bon câble, les cinquante enfants par un bon cheval, et que la poutre continuera à avancer, sans s'apercevoir qu'on a changé l'attelage.

De même il ne vous faudra pas beaucoup d'imagination pour supprimer par la pensée les milliers de lutins qui tirent cette règle carrée et l'appuient

sur la table, et pour les remplacer par un lutin unique aussi fort à lui seul que les mille ensemble, et qui, par conséquent, fait exercer par la règle sur la table la même pression.

Cette pression que la règle exerce sur la table, et qui est la résultante des actions de la pesanteur sur tous ses points, c'est ce qu'on appelle le poids de la règle.

— Et le centre de gravité, dont vous m'aviez promis de vous parler, dans tout cela que devient-il ?

— Un peu de patience, ma chère enfant, nous y arrivons.

Quand M. le précepteur qui accommodait si mal le nez de son élève est allé montrer la mécanique à ses compatriotes, les bourgeois de Falaise, il leur a enseigné (et il était payé pour le savoir) que dans toute force il faut considérer sa direction, son intensité et son point d'application.

Or le poids d'un corps, c'est une force ; la direction de cette force, nous la connaissons : c'est la verticale. Son intensité, puisque cette force est celle du gros lutin qui tire à lui seul comme les mille petits dont chacun se suspend à une molécule, c'est la somme des actions de la pesanteur sur tous les points du corps. Mais son point d'application, comment parviendrons-nous à le trouver ?

Nous allons, si vous le voulez bien, essayer ensemble.

Et d'abord, je n'ai pas sans doute besoin de vous faire observer qu'une force ne peut être détruite que par une force ou par une résistance directement opposée. Si votre amie Marthe veut ouvrir la porte et si vous voulez l'en empêcher, ce n'est pas en poussant le mur à côté de la porte, c'est en poussant la porte elle-même que vous y parviendrez ; si, quand vous croyez mettre le pied sur la trappe qui ferme ordinairement le trou de la cave, cette trappe se trouvait ouverte, vous iriez apprendre à vos dépens au fond de la cave le danger de ne pas détruire une force, votre poids, par une résistance directement opposée.

Maintenant il ne nous sera pas difficile de trouver le point d'application du poids de la règle.

Placez la règle devant vous sur la table, parallèlement à la ligne de vos yeux. — Voilà qui est fait. — Mettez maintenant votre doigt sous la règle, vers l'extrémité de droite, et essayez de la soutenir ainsi en l'air. Impossible ; la règle s'incline à gauche, son extrémité gauche reste sur la table, et seule l'extrémité droite s'élève.

Mais glissez peu à peu votre doigt de droite à gauche ; voyez ! à mesure que vous approchez du milieu, la règle tend moins énergiquement à s'incliner à gauche. Vous voilà au milieu, et la règle se tient horizontalement en équilibre sur votre doigt.

Que se passe-t-il en ce moment ?

Vous rappelez-vous la poutre que les petits garçons traînaient par des cordes attachées à des crochets plantés de mètre en mètre ? quand nous avons voulu l'arrêter au moyen d'une seule corde, nous avons attaché cette corde au milieu. Nous aurions pu l'arrêter aussi en élevant juste vis-à-vis le milieu de la poutre un obstacle infranchissable, un piquet, par exemple.

Eh bien, les mille lutins de la pesanteur qui tirent votre règle, ce sont les garçonnetts qui tiraient la poutre. L'obstacle, le piquet, c'est votre doigt qui en joue le rôle ; et, de même que le piquet ne pouvait arrêter la poutre qu'en détruisant la résultante des actions que tous les garçons exerçaient sur elle par le moyen des cordes, de même votre doigt ne peut tenir la règle en équilibre qu'en détruisant la résultante des actions que les mille lutins de la pesanteur exercent sur la règle.

Votre doigt est donc directement au-dessous du point d'application de cette résultante, c'est-à-dire du poids.

Eh bien ! ce point d'application du poids, savez-vous comment on l'appelle ?

C'est, comme dit Bélise,

Ce que nous appelons centre de gravité.

Mot très bien fait, car, des deux dont il se compose, le mot centre convient à merveille au point où, pour ainsi dire, se concentrent toutes les forces de la pesanteur, et quant au mot gravité, il est précisément synonyme du mot pesanteur.

Il est évident que chaque corps a un centre de gravité, puisque les actions des mille lutins qui tirent ses molécules ont une résultante, et cette résultante un point d'application. Mais le centre de gravité n'est pas toujours aussi facile à trouver que dans le cas de la règle.

De le chercher, c'est, ma chère enfant, affaire, non à nous, mais aux géomètres.

Toutefois, le centre de gravité joue un trop grand rôle dans une foule d'exercices qui vous sont familiers, pour que nous ne restions pas quelques instants de plus en sa compagnie, ne fût-ce que pour savoir de lui si on peut le perdre et le retrouver.

N'oublions pas que la grosse corde qui remplace les mille fils de la pesanteur et passe par le centre de gravité, le poids, tire à elle seule le corps comme tous les fils ensemble ; que, par conséquent, pour que le corps reste en équilibre, il faut que la résistance d'un support vienne détruire l'effet de ce poids, c'est-à-dire soutenir le centre de gravité, et cette réflexion nous rendra faciles à comprendre une foule de phénomènes, depuis les plus simples, dont nous sommes tous les jours témoins, jusqu'à ceux qui constituent les tours de force des gymnasiarques.

Voici un livre bien posé à plat sur la table. Il ne court pas risque de tomber, car la table empêche les mille fils des lutins de produire leur effet et arrête l'action du poids.

Poussez maintenant le livre au bord de la table et faites-le déborder. Le livre tient d'abord : c'est que le centre de gravité est encore au-dessus de la table, et le poids est détruit par elle. Mais poussez-le plus loin. Voici que le centre de gravité approche du bord. Il y arrive ; la corde que le gros lutin y a attachée pend déjà en dehors de la table. Voyez comme il la tire ! le livre bascule autour du bord comme la cloche que tire le carillonneur autour de ses tourillons ; hâtez-vous de le soutenir, car il va tomber ! — il tombe ! — Trop tard ! il est tombé.

Quand cette pédante de Bélise attribuait la chute de Lépine à ce qu'il avait

Du point fixe écarté
Ce que nous appelons centre de gravité,

elle avait une vague idée du phénomène ; mais, comme tous les pédants, elle remplaçait par de grands mots techniques, où elle ne comprenait rien, des idées fort simples que vous devez maintenant comprendre à merveille.

Au moment où le livre a chaviré tout à l'heure, son centre de gravité n'a, été écarté d'aucun point fixe. Non, mais le poids, qui se concentrait en ce centre de gravité, ne trouvant plus de support sous lui, le livre est tombé comme tombe l'homme qui, portant tout son poids sur le pied droit, pose ce pied dans le vide d'une cave, au lieu de le poser sur le plancher de la trappe.

Pour supporter, pour soutenir un poids, il faut un point d'appui solide, une base ; une base qui, de ce qu'elle soutient, prend le nom de base de sustentation. C'est au-dessus de cette base de sustentation, je dis verticalement au-dessus, que doit rester le centre de gravité pour que le corps ne tombe pas ; et nous voici arrivés aux expressions mêmes des géomètres, car ils disent que, pour qu'un corps pesant soit en équilibre, il faut que la verticale de son centre de gravité rencontre la base de sustentation.

Que de choses obscures vont devenir claires pour vous, maintenant ! Voyez-vous ce saltimbanque qui, sur son menton, porte une échelle au haut de laquelle une fillette de votre âge, debout, sans s'appuyer à rien, envoie des baisers aux spectateurs ? Rien n'est plus facile..., je ne dis pas à faire, et je ne vous conseillerais pas d'essayer ; mais rien n'est plus facile à expliquer. La fillette aux baisers est assez adroite pour que la verticale de son centre de gravité rencontre toujours son étroite base de sustentation, le barreau de l'échelle où elle appuie ses pieds, et le saltimbanque est assez adroit pour maintenir toujours son menton juste au-dessous du centre de gravité de ce corps complexe, qui se compose de la fillette et de l'échelle.

Voici, réunis dans une même baraque, trois acrobates qui doivent être terriblement forts sur le centre de gravité, car la base de sustentation au-dessus de laquelle leur centre de gravité évolue est singulièrement étroite.

Pour l'un, c'est la corde, de quelques centimètres de large, sur laquelle il se promène dans les airs. Pour le second, l'étroite roue d'un vélocipède. Pour le dernier, enfin, la ligne qui réunit les deux pieds de ses minces échasses.

Comment font ces gens-là, bon Dieu, pour ne pas se casser le cou ?

Tous les trois emploient la même méthode. Pour tous les trois, la base de sustentation est si étroite, qu'en vérité, quelle que soit leur adresse, il leur serait impossible de maintenir toujours exactement au-dessus leur centre de gravité. Alors, ils ont pris le parti de le faire osciller à droite et à gauche de cette base de sustentation. Dès que le vélocipédiste sent que son centre de gravité, ayant passé à gauche du sillon que trace la roue dans la poussière,

menace de l'entraîner lui-même et de le faire tomber à gauche, un léger mouvement du corps à droite ramène du même côté son centre de gravité, qui, tendant alors à le faire tomber à droite, le sauve de la chute qui le menaçait à gauche.

L'homme aux échasses fait de même. Quant au danseur de corde, comme aux difficultés qu'il partage avec ses deux camarades se joint pour lui celle de marcher sur un pont singulièrement mobile, les mouvements de corps qui ramènent au-dessus de la base le centre de gravité du vélocipédiste et de l'homme aux échasses pourraient ne pas suffire à ramener le sien, un peu trop écarté ; aussi voyez-vous tous les danseurs de corde s'aider d'un balancier. Ce long bâton, qu'ils tiennent des deux mains, aide au déplacement rapide de leur centre de gravité. Quand celui-ci, par suite de quelque faux mouvement, menace de quitter sans esprit de retour la verticale de la base de sustentation, un brusque déplacement du balancier dans le sens opposé, en augmentant considérablement le poids de ce côté, ramène au bercail le fugitif, et à l'équilibre le danseur de corde.

Et maintenant, ma chère enfant, je crois inutile de multiplier davantage les exemples, car je suis persuadé que vous serez capable, avec un peu de réflexion, d'expliquer vous-même tous les tours d'adresse et d'équilibre que vous pourrez voir désormais dans les gymnases ou dans les cirques. Mais je ne peux pas quitter la question de l'équilibre sans vous expliquer trois mots qui sont passés du langage de la science dans celui des gens du monde, ce qui ne veut pas dire que les gens du monde les emploient toujours fort à propos.

Vous avez, je crois, dans vos jouets, un de ces mandarins chinois en carton-pâte, sans jambes, et dont le buste de cul-de-jatte est arrondi par le bas, comme si l'on y avait appliqué une demi-boule. Quand on le pose sur cette demi-boule, il se tient debout ; si on le couche sur le dos ou sur le ventre, il se relève : il a horreur de la position horizontale.

Posez-le là, par terre. A côté, je vais essayer de faire tenir debout les pincettes. C'est difficile, mais avec de la patience, et pourvu que les deux cercles qui en terminent les branches soient un peu aplatis par l'usage, j'en viendrai à bout. Les y voilà. Enfin, je place à côté votre boule de jeu de quilles.

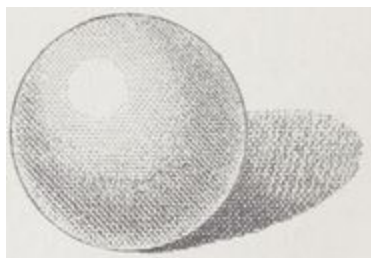
Fig. 3.



Fig. 4.



Fig. 5.



Voilà donc trois corps pesants en équilibre (fig. 3, 4 et 5). Mais quelle différence de stabilité ! Le mandarin tient si fort à sa position d'équilibre, que j'ai beau l'en écarter, l'incliner à gauche, à droite, en avant, en arrière, toujours il y revient. Ce n'est pas surprenant ; on a fixé au fond, dans la partie arrondie, une balle de plomb, et comme le reste du mandarin est en carton et ne pèse presque rien, le centre de gravité du tout est dans la balle

de plomb, c'est-à-dire au plus bas. Comment la verticale de ce centre de gravité cesserait-elle de passer par la base de sustentation, quand le centre de gravité s'y trouve lui-même ? Aussi, impossible de renverser le bonhomme : il se relève toujours.

C'est bien différent avec les pincettes. Là, le poids est tout en haut, dans la partie qu'on tient à la main quand on tisonne, et par conséquent le centre de gravité est aussi en haut. Tant qu'il est juste au-dessus de la mince ligne qui joint les deux points d'appui, les pincettes tiennent, mais si peu ! Soufflez dessus : le centre de gravité se déplace. Adieu l'équilibre, voilà les pincettes par terre.

Quant à la boule de quilles, son centre de gravité est au centre de la boule, et par conséquent toujours au-dessus du point qui touche à terre. Aussi vous pouvez la déplacer comme il vous plaira, peu lui importe. Elle n'en restera pas moins en équilibre, indifférente à la position qu'il vous plaira de lui donner.

Le premier équilibre, celui du mandarin chinois, qui, écarté de sa position d'équilibre, y revient sans cesse, s'appelle naturellement équilibre stable.

Le second, celui des pincettes, qui, à peine écartées de leur position d'équilibre, le perdent pour jamais, s'appelle pour cette raison équilibre instable.

Enfin, celui de la boule, dont vous avez constaté l'indifférence à prendre telle ou telle position plutôt que telle ou telle autre, s'appelle équilibre indifférent.

C'est l'équilibre stable que les architectes doivent donner à toutes leurs constructions. C'est pour cela que les murs sont plus épais au rez-de-chaussée qu'aux étages supérieurs, afin que le centre de gravité soit le plus bas possible. Et vous rappelez-vous, avant-hier, votre étonnement quand vous avez trouvé répandus par terre, et quelques-uns abîmés, ces livres que vous aviez empilés sur votre table ? Vous accusiez le chat ; il ne fallait accuser que vous-même, qui, ayant mis les gros livres sur les petits, au lieu de mettre les petits sur les gros, aviez élevé le centre de gravité de la pile assez haut pour en rendre l'équilibre instable. Le moindre déplacement, le vent d'une porte, que sais-je, a légèrement écarté la pile de sa position d'équilibre, et patatras ! vous savez le reste.

IX^e ENTRETEN

LES LEVIERS

Voici un cheval qui traîne au pas une lourde charrette. Proposez-lui de prendre le galop, il vous répondra : « Volontiers, mais donnez-moi une voiture plus légère ».

En voici un autre qui emporte au galop un tilbury. Proposez-lui de l'échanger contre une charrette, il répondra : « Comme vous voudrez, mais j'irai au pas ».

Les réponses de ces chevaux ont été entendues par M. Jean Macé, qui les a transcrites dans le livre charmant intitulé : Histoire d'une bouchée de pain, et elles m'ont paru si sensées, que je n'ai pu me tenir de les reproduire à mon tour, et d'ajouter, toujours avec M. Macé :

Comme vous le voyez, avec la même force, on a le choix :

Ou bien triompher d'une résistance plus grande, en allant doucement ;

Ou bien aller vite, mais triompher d'une résistance moins grande.

Vous avez, ma chère enfant, rencontré cent fois, peut-être sans le remarquer, l'application du principe que résumant si bien les réponses des chevaux philosophes.

Cette petite scie à découper, que votre frère manœuvre avec une pédale, n'a à vaincre que la faible résistance de bois extrêmement minces. Aussi voyez, elle marche avec une telle vitesse, qu'on ne la voit pas passer, pendant que la grand scie des scieurs de long, qui débite en planches de gros troncs d'arbres, n'avance que majestueusement et à pas comptés.

Voyez la roue de ce gagne-petit. Tant qu'elle tourne à vide, les mouvements du pied, qui peuvent servir à compter les tours de roue, sont précipités. Mais ils se ralentissent dès que le gagne-petit, appuyant sur la roue le couteau qu'il aiguisé, augmente la résistance.

Et la couturière, combien ne va-t-elle pas plus vite, quand elle coud des mouchoirs de batiste que lorsqu'il faut que son aiguille traverse de la grosse toile à sac !

Oui, combien ? Ma foi, ma chère petite, je vous le dirais si je savais combien de fois la résistance de la toile à sac vaut la résistance de la batiste.

Car enfin, nous ne pouvons pas toujours nous laisser faire la leçon par les chevaux, si philosophes qu'ils soient, et il est temps de leur prouver que si leurs réponses ne laissent rien à désirer au point de vue du bon sens, nous pouvons leur en remontrer pour la précision.

Ainsi vous, monsieur le premier cheval, qui offrez de galoper si l'on vous donne une voiture moins lourde, je vais vous dire : si l'on vous donne une voiture deux fois moins lourde, vous irez juste deux fois plus vite. Et vous, monsieur le second cheval, qui n'acceptez de traîner une charrette qu'à condition d'aller au pas, souvenez-vous qu'il y a pas et pas, et que si la charrette qu'on substitue à votre tilbury pèse trois fois plus que lui, eh bien, vous ferez avec la charrette juste trois fois moins de chemin dans le même temps qu'avec le tilbury.

Et maintenant, chère enfant, que nous avons remis ces bêtes à leur place, que je vous dise enfin pourquoi je vous ai promenée à travers les tilburys et les scieries, les gagne-petit et les lingères, et quel rapport a cette promenade avec celle que nous faisons autour d'un laboratoire.

Avez-vous remarqué ces barres de fer avec lesquelles les maçons soulèvent et déplacent des pierres vingt fois plus lourdes qu'eux-mêmes ? Ils les appellent des pinces ; mais leur vrai nom est levier. Tenez, en voici justement un qui s'apprête à soulever cet énorme bloc ; regardons-le faire.

Auprès de la pierre il a posé une petite cale en bois. — Sur cette cale il appuie son levier (fig. 6) — Il en glisse sous la pierre un bout qui a été aminci tout exprès pour pouvoir la pincer (d'où le nom de pince). Il se porte lui-même à l'autre extrémité, juste au bout de la barre ; il presse de toute sa puissance sur cette extrémité. Ah ! voilà la pierre qui monte assez pour que le camarade du maçon puisse, dessous, glisser un câble. Elle devait cependant offrir une bien grande résistance. Comment à lui seul le maçon a-t-il eu la puissance d'en triompher ?

Fig. 6.



Et comment le léger cheval de cabriolet a-t-il pu triompher de la résistance de la lourde charrette ? Il vous l'a dit lui-même : en allant au pas.

De même le maçon n'a fait monter sa pierre que bien lentement, au petit pas, car voyez, tandis que lui-même abaissait l'extrémité du levier sur laquelle il pèse, de près d'un mètre, la pierre, à l'autre bout, ne montait, dans le même temps, que de 4 ou 5 centimètres ; la petite force du maçon galopait ; le lourd poids de la pierre marchait au pas.

« Et voilà pourquoi votre fille est muette ! » Si j'ai tenté de vous l'expliquer, ce pourquoi, c'est qu'après avoir raconté l'histoire du cheval de tilbury et du cheval de charrette, M. Macé ajoute : Dites à votre papa de vous expliquer le levier.

Il en parle à son aise, M. Macé, et j'ai bien peur que, pour expliquer le levier tout à fait, de manière à ne laisser dans votre esprit aucun doute, il n'y fallût sa plume ingénieuse et alerte, car je sens bien toute l'insuffisance et le vague de ma propre explication. Pourtant je n'y renonce pas, et je vais essayer de la compléter et de la rendre plus claire.

Tout le monde sent, et il est facile de s'en rendre compte, que la force et la vitesse entrent ensemble en ligne de compte dans l'évaluation de tout travail produit !

Deux ouvriers sont employés à monter de la terre au haut d'une terrasse. Si le premier porte, à chaque voyage, une charge double de celle du second, mais s'il fait deux fois moins de voyages, n'est-il pas évident que le soir ils auront fait le même travail ?

Et si le premier portait double charge, en faisant le même nombre de voyages ?

— Il aurait fait double travail.

— Et s'il portait la même charge en faisant trois fois plus de voyages ?

— Il aurait fait triple travail.

— Et si enfin le premier ouvrier, tout en portant une charge double de celui du second, avait fait trois fois plus de voyages ?

— Évidemment le premier aurait fait six fois plus de travail que le second.

— Vous l'avez dit vous-même, mon enfant, et vous voyez que le contremaître qui voudra, le soir, payer les ouvriers selon le travail qu'ils auront fait, n'aura qu'à peser la charge portée par chacun d'eux à chaque voyage, et la multiplier par le nombre de voyages qu'il aura fait, ou, ce qui revient au même, par le nombre de mètres qu'il aura montés dans sa journée.

Le nombre de quintaux de terre élevés, voilà en définitive ce qui importe au propriétaire, et, qu'un ouvrier ait cru devoir porter de petites charges en faisant beaucoup de voyages, ou de fortes charges en les faisant moins nombreux, c'est son affaire. Tous ceux pour lesquels, en multipliant la charge portée par le nombre de voyages faits, le contremaître trouvera le même résultat, devront toucher la même paye.

Et maintenant, ma chère enfant, retournons à notre maçon, et nous allons comprendre le mécanisme de son levier.

Quand il presse sur l'extrémité qu'il tient à la main, toutes les parties de sa barre, sauf celle qui touche le point d'appui, se mettent en route, et chacune fait d'autant plus de chemin qu'elle est plus loin du point d'appui. Si, par exemple, la longueur comprise entre la main du maçon et le point d'appui est vingt fois plus longue que celle qui sépare le point d'appui de la pierre, chaque mouvement de la barre fera faire à la main du maçon vingt fois plus de chemin qu'à la pierre.

Il est, par rapport à la pierre, comme un de nos terrassiers de tout à l'heure qui aurait fait vingt fois plus de voyages que son voisin. Pour avoir fait le même travail il faudrait qu'il eût déployé à chaque voyage vingt fois moins de force.

Et voilà pourquoi notre maçon soulève, grâce à son levier, une pierre dont le poids est vingt fois plus grand que la pression qu'il exerce lui-même au bout de sa barre.

Avez-vous compris ? Je l'espère, et alors vous ne traiterez pas de forfanterie le mot qu'on prête à Archimède : « Donnez-moi un point

d'appui, et je soulèverai le monde. » Car vous comprendrez que la puissance du levier n'a pas de limite.

Pas de limite théorique, s'entend ; car, en pratique, il est évident qu'elle est limitée par la solidité du point d'appui et par celle de la tige.

Le levier est l'un des instruments les plus universellement employés. On ne peut, pour ainsi dire, faire un pas sans en trouver un sur son chemin. Non seulement nos usines, mais encore nos maisons et nos ustensiles les plus vulgaires en fourmillent.

Partout où il y a une résistance à vaincre, une puissance pour lutter contre elle, et où l'on peut trouver un point d'appui, on emploie un levier. Mais la puissance et la résistance ne sont pas toujours placées de la même manière par rapport au point d'appui, et de là trois espèces de leviers, ou plutôt trois genres, c'est le mot consacré, que je vais vous faire connaître par quelques exemples familiers.

La pince que nous avons vu employer par le maçon tout à l'heure, avait son point d'appui entre la puissance et la résistance. C'est ce qui distingue les leviers du premier genre. La balance et la romaine, que nous étudierons plus tard, sont des leviers du premier genre. Dans le midi de la France (fig. 1), on emploie à tirer l'eau des puits un instrument fort simple que les paysans fabriquent eux-mêmes, et qu'en patois languedocien ils appellent callebo. Un grand poteau est planté auprès du puits. A la partie supérieure du poteau, que l'on choisit en forme de fourche, une longue barre mobile autour d'une cheville enfoncée dans les deux branches de la fourche, est équilibrée de manière que l'extrémité qui est au-dessus du puits se tienne en l'air. A cette extrémité est suspendue une perche en bois, qui pend au-dessus et à la hauteur de l'ouverture du puits. C'est là que les ménagères accrochent le sceau avec lequel elles veulent puiser de l'eau. En tirant sur la perche, elles font descendre le seau au fond du puits. Quand il est plein, le contrepoids qui bascule autour de la cheville le remonte de lui-même. C'est encore un levier du premier genre.

Fig. 7.

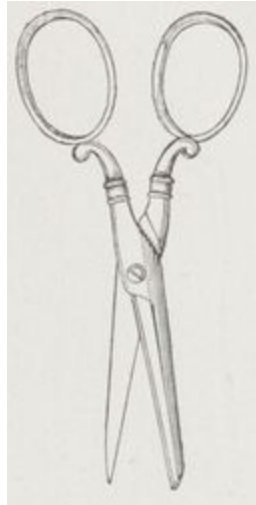


Les tenailles et les pinces, les ciseaux (fig. 8) dont vous taillez les robes de vos poupées, sont autant de leviers du premier genre. Mais si je voulais les citer tous, cet entretien ne finirait pas, et il vaut mieux passer à un autre levier.

Si nous étions restés un peu plus longtemps auprès de notre maçon de tout à l'heure, vous auriez vu qu'après avoir soulevé la pierre avec sa pince, il s'est servi de cette pince d'une façon toute différente pour faire avancer la pierre. Tout à l'heure il avait placé un point d'appui, une cale en bois entre

lui et la pierre, et il agissait sur celle-ci en baissant la portion de la barre, le bras de levier, placé de son cote.

Fig. 8.



Maintenant au contraire il appuie à terre la pointe de sa pince, fait porter la pierre sur cette pince, et soulève au lieu de l'abaisser le bras de levier dont il dispose.

Tout à l'heure le point d'appui était entre la puissance et la résistance : nous avions un levier du premier genre. Maintenant la résistance est entre le point d'appui et la puissance : c'est un levier du second genre.

Dans le levier du second, comme dans celui du premier genre, les raisonnements des chevaux de charrette et de tilbury trouvent leur application, et je vous laisse le soin de les refaire vous-même. Mais je veux vous citer quelques leviers du second genre, que vous connaissiez bien longtemps avant de savoir qu'il y eût des leviers au monde, et dont vous pourrez désormais expliquer l'emploi.

Fig. 9.



Voyez-vous ce jeune garçon qui saisit sa brouette (fig. 9) et s'apprête à promener dedans sa petite sœur ? L'essieu de la roue est le point d'appui. La puissance est naturellement dans les bras du garçon, et la résistance, c'est le poids de la fillette. La résistance étant entre le point d'appui et la puissance, la brouette est un levier du deuxième genre.

Fig. 10.



L'inventeur de la brouette est Pascal, aussi grand dans les lettres que dans les sciences, et qui écrivait le livre immortel des Lettres provinciales en

même temps qu'il faisait sur le baromètre des découvertes dont nous reparlerons plus tard.

Un autre levier du second genre est le casse-noix (fig. 10), car la noix qu'il s'agit de casser est placée entre la charnière, qui est le point d'appui, et la main dont la puissance doit casser la noix, et il suffit de jeter les yeux sur l'instrument, pour reconnaître que les branches que la main rapproche font dans le même temps plus de chemin et par conséquent vont plus vite que les mâchoires entre lesquelles s'exerce la résistance de la noix. Le cheval de cabriolet veut bien traîner une charrette, mais à la condition de n'aller qu'au pas.

Ainsi, dans les deux genres de levier que je vous ai fait connaître jusqu'à présent, nous avons toujours remplacé le tilbury par la charrette ; je veux dire sacrifié la vitesse pour triompher d'une résistance plus grande.

Le levier du troisième genre fait le contraire, et vous allez bien vite comprendre pourquoi :

Voici une longue échelle que les maçons ont couchée le long du mur. Il s'agit de la relever.

L'un des maçons appuie le pied sur le premier échelon pour empêcher l'échelle de glisser. Il rend fixe ainsi le pied de l'échelle, qui devient le point d'appui du levier.

La résistance, c'est le poids de l'échelle, qu'il faut vaincre, et qui est appliqué au centre de gravité, vers le milieu de la longueur.

Si l'autre maçon pouvait se placer au bout de l'échelle qui doit être relevée contre le mur, nous aurions un levier du second genre, et c'est ce qui arrive quand on peut attacher une corde à cette extrémité de l'échelle et la faire tirer par des ouvriers placés au haut du mur. Mais si ce n'est pas possible, que fera le second maçon ? Il se placera non loin de son compagnon, vers le cinquième ou sixième échelon, et, faisant un effort vigoureux, il élèvera cet échelon aussi haut que sa taille le lui permettra.

Ce ne sera pas encore très haut ; mais pendant que le cinquième échelon montera ainsi à un mètre cinquante environ, le vingtième montera quatre fois plus haut, ou à six mètres. C'est lui qui fera le rôle de tilbury, et le maçon aura pris celui du cheval de charrette. Il aura fait peu de chemin en soulevant un grand poids ; mais grâce à lui le bout de l'échelle arrivera au haut du mur.

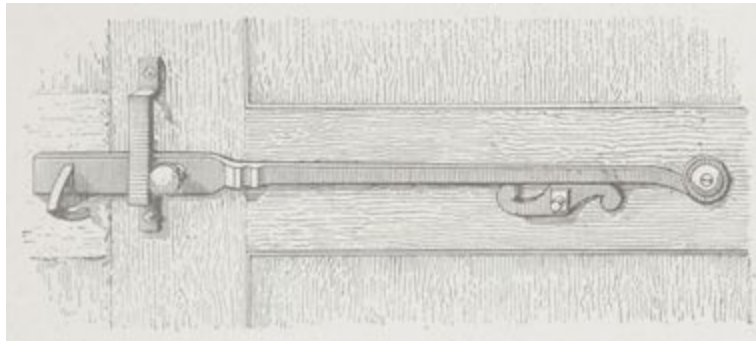
Cette fois la puissance, la force du maçon s'est exercée entre le point d'appui et la résistance. C'est ce qui caractérise le levier du troisième genre,

et vous voyez qu'on l'emploie quand on dispose de beaucoup de force, mais de peu d'espace.

Vous êtes, ma chère enfant, trop jeune pour avoir connu les portes à loquets de nos pères. Elles avaient bien leur mérite. Comme solidité, la porte était maintenue dans toute sa largeur par le loquet, et comme décoration, le bouton placé au milieu de la porte pouvait être entouré de moulures symétriques que ne permettent pas les boutons actuels.

Enfin elles ont le mérite de m'offrir un remarquable exemple de levier du troisième genre, que vous me permettrez, j'espère, de vous décrire en peu de mots.

Fig. 11.



Une longue tige horizontale (fig. 11), en fer, est montée par une de ses extrémités sur un pivot planté dans le battant de la porte. C'est le point d'appui du levier.

L'autre extrémité, près de laquelle est le centre de gravité, pour que le poids soit appliqué le plus près possible du bout libre, tombe dans un mentonnet, ou crochet, enfoncé dans le cadre de la porte. C'est la résistance.

Enfin, entre le point d'appui et la résistance, mais plus près du point d'appui, une sorte d'S horizontale, qu'on peut tourner de l'autre côté de la porte à l'aide d'un bouton, soulève le levier pour le faire sortir du mentonnet, quand on veut ouvrir la porte, ou l'y laisse retomber, quand on veut la fermer.

C'est là que s'applique la puissance.

Or, cette puissance, même placée désavantageusement, c'est-à-dire très près du point d'appui, est toujours suffisante pour vaincre la résistance, puisque celle-ci n'est que le poids du loquet. Mais il importe que celui à qui l'on dit : Tournez le bouton « et la bobinette cherra », ne soit pas obligé de

se tordre le poignet pour faire sortir le loquet de son mentonnet. Il faut donc mettre la puissance près du point d'appui, pour qu'avec un petit chemin de la puissance, la résistance en fasse un grand.

Et voilà comment toutes les mamans et grand'mamans, qui ont aujourd'hui de quarante à soixante ans, se servaient tous les jours, quand elles avaient votre âge, d'un levier du troisième genre, sans avoir jamais soupçonné qu'il y eût trois genres de leviers.

Mais vous-même, je vais bien vous surprendre en vous apprenant, ma chère enfant, que depuis le moment où vous êtes née, vous n'avez pas un seul jour manqué de faire usage de quantité de leviers du troisième genre. Et savez-vous où ils sont ?

Si je vous demandais ce que vous faites quand vous portez un bonbon à votre bouche, il est probable que vous me répondriez comme Nicole quand M. Jourdain lui demande : « Qu'est-ce que tu fais, quand tu dis U ? — Eh bien, je dis U. »

Vous vous rappelez l'explication savante de M. Jourdain. Je vais tâcher d'être un peu moins embrouillé que lui.

Asseyez-vous devant cette table, le coude appuyé, l'avant-bras allongé sur la table. Je mets entre vos doigts un bonbon que, sans ôter votre coude de sur la table, vous portez à votre bouche. Pendant cette opération, quel mouvement ont exécuté vos membres ?

Le bras n'a pas bougé : l'avant-bras, qui était presque dans le prolongement du bras, s'est replié sur lui, comme se replient l'une sur l'autre les deux branches d'un compas ; or vous savez qu'il n'y a pas de mouvement sans force. Il y a donc eu quelque part une force, une puissance qui a tiré l'avant-bras pour l'obliger à se replier sur le bras. Il y a d'ailleurs une résistance : le poids du bras et de la main qui est au bout. Il y a enfin un point fixe, un point d'appui : le coude.

Puissance — résistance — point d'appui. — Il y a donc un levier.

De quel genre ?

Voyons, vous, mon enfant, si vous aviez eu à choisir ; si Garot vous eût emmené avec lui « au conseil de celui que prêche son curé », pour quel genre de levier auriez-vous voté ?

Pour vous faciliter la réponse, il nous faut rechercher ensemble quelles conditions devaient remplir l'avant-bras et la main.

Vous ne l'avez pas oublié : « avec la même force on a le choix :

Ou bien triompher d'une résistance plus grande en allant doucement.

Ou bien aller vite, mais triompher d'une résistance moins grande. »

Des deux alternatives, laquelle choisissez-vous ? Ce serait bien agréable de pouvoir, au lieu du bonbon que j'ai mis entre vos doigts, enlever à bras tendu un poids de cent kilos, mais je crois qu'il est encore plus utile, si une mouche vous vole dans l'œil, d'y porter rapidement la main pour l'en écarter ; si un chien vous aboie aux jambes, de faire le moulinet avec son bâton pour l'effrayer ; si l'on veut jouer sur le violon des triples croches, de mouvoir l'archet assez vite à n'en pas faire des blanches.

Décidément l'avant-bras a encore plus besoin de rapidité que de force.

Et alors ?

Et alors Garot décide qu'il y faut un levier du troisième genre.

Bien jugé, car c'est justement un levier du troisième genre, mon enfant, que vous avez, du jour de votre naissance, fait fonctionner sans le savoir entre votre bras et votre avant-bras.

Les muscles qui rapprochent de votre bras immobilisé sur la table votre avant-bras laissé libre, et qu'ils tirent en se contractant, s'insèrent, je veux dire s'attachent sur l'os de votre avant-bras très près de l'articulation, en sorte que la puissance, dont le bras de levier est précisément la distance de cette articulation au point d'insertion, est dans des conditions bien défavorables pour lutter contre la résistance qui a pour bras de levier toute la longueur de l'avant-bras.

Mais, quelle revanche ne prend pas la puissance au point de vue de la rapidité ! Elle n'a que quelques centimètres à parcourir pour obliger la main à une promenade circulaire de près d'un mètre de long, et le point d'application de la puissance peut se prélasser à son aise en regardant le point d'application de la résistance courir la poste.

Décidément les violonistes n'ont rien à redouter des triples croches.

Ni les pianistes non plus, grâce aux leviers du troisième genre qu'ils portent dans leurs doigts.

Et savez-vous aussi pourquoi, mon enfant, quand vous jouez aux barres avec vos petites amies, vous pouvez courir si vite ? C'est toujours grâce aux leviers du troisième genre, que vous avez dans les jambes aussi bien que dans les bras.

Mais c'est assez parler de leviers pour aujourd'hui, d'autant que nous les retrouverons sous une autre forme dans le prochain entretien.

X^e ENTRETIEN

LA BALANCE

Voici une boule de plomb dans ma main droite et une boule de bois dans ma main gauche. Le poids de la boule de plomb est la résultante des actions de la pesanteur sur tous ses points, et se manifeste par la pression que la boule exerce sur ma main droite. Le poids de la boule de bois est la résultante des actions de la pesanteur sur tous ses points, et se manifeste par la pression que la boule exerce sur ma main gauche. Et il suffit de soupeser un seul instant les deux boules, pour sentir que la boule de plomb exerce sur ma main droite une pression plus forte que celle que la boule de bois exerce sur ma main gauche ; autrement dit, que la boule de plomb pèse plus que la boule de bois.

Mais si je voulais savoir, non plus seulement laquelle pèse le plus, mais encore combien de fois elle pèse plus, en d'autres termes combien il faudrait de boules de bois pareilles à celle que j'ai dans ma main gauche pour peser ensemble précisément autant que pèse la boule de plomb, ce n'est pas ma main toute seule qui pourrait me le dire. Il y faudrait un instrument, un appareil spécial.

Quel appareil ? Si vous voulez, ma chère enfant, nous allons le découvrir, l'inventer à nous deux, et mesurer, avec, le poids de cette sonnette de bronze que j'aperçois là sur votre table. Cette invention ne nous procurera pas à la vérité une grand gloire, car

« Après autrui l'on trouve avec plus de bonheur, »

mais elle vous gravera si bien dans la tête les principes sur lesquels repose cet appareil, que, je l'espère du moins, vous ne pourrez plus les oublier.

Mesurer un poids, c'est (comme mesurer n'importe quelle autre quantité) comparer ce poids à un autre, préalablement choisi comme terme de

comparaison, et que votre maître de calcul vous a appris à connaître, sous le nom d'unité de poids.

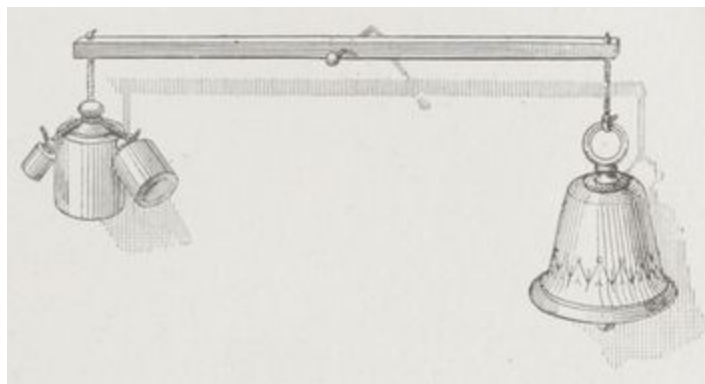
Mais, pour pouvoir comparer deux poids, c'est-à-dire deux forces, il faut placer ces deux forces dans les mêmes conditions, c'est-à-dire les faire agir à l'extrémité du même bras de levier. Il est clair en effet que si vous souleviez, votre amie Marthe et vous, le même fardeau, en vous servant de leviers différents, on ne pourrait pas conclure de cette épreuve que vos deux forces sont égales.

Il faut donc nous efforcer de faire agir successivement le poids de la sonnette et celui d'un certain nombre de poids unités (vous savez qu'on les appelle des grammes), à l'extrémité du même levier.

Et quand je dis successivement, je me trompe. Il importe peu en effet que ce soit successivement ou simultanément ; simultanément sera même plus commode.

Perçons donc d'un trou en son milieu (fig. 12) (bien exactement au milieu) votre règle, que j'aperçois là sur la table ; dans le trou, passons une pointe de Paris que nous planterons dans la porte, puis, à chaque extrémité suspendons, à droite notre sonnette, à gauche le nombre de grammes nécessaire pour que la règle se tienne horizontale. Il est clair que, la sonnette de bronze tendant à faire tourner la règle autour de la pointe de Paris dans un sens, pendant que les grammes tendent à la faire tourner en sens contraire, et le point d'appui, c'est-à-dire la pointe, étant juste au milieu, nous avons réalisé entre les deux poids la lutte comme nous l'avions organisée entre Marthe et vous, c'est-à-dire au bout du même levier. Si donc, pour rendre la règle horizontale, il a fallu suspendre à gauche, par exemple six poids d'un gramme, nous pouvons affirmer que la balle de plomb pèse autant que six grammes, ou, comme on dit, pèse six grammes.

Fig. 12.



Et, du même coup, nous avons construit un appareil primitif, élémentaire, grossier, mais qui rappelle néanmoins les balances que vous avez, chez les pharmaciens, vues certainement, mais peut-être insuffisamment regardées.

En voici une, ma chère enfant, regardez-la attentivement, et vous y reconnaîtrez toutes les pièces que je vais vous décrire.

D'abord, pour remplacer notre règle, une tige d'acier, bien plus propre que notre règle à faire fonction de levier ; car notre règle en bois se tord, se voile à l'humidité ou à la chaleur, et il y aurait bien des chances pour que nos deux bras de levier, si égaux que nous fussions parvenus à les faire, en construisant notre balance, ne le fussent plus quelques heures après. La tige d'acier, au contraire, le fléau de la balance, comme on l'appelle, ferme, raide, rigide (c'est le mot consacré), nous donne pleine sécurité. Si les bras de levier sont faits égaux par le constructeur, ils resteront égaux, et la balance restera bonne.

Bonne, voilà pourtant un mot un peu aventuré, car il ne suffit pas que les deux bras soient égaux pour que la balance soit bonne. Puis, bonne est un mot bien vague !

Voyons ! puisque nous nous sommes promis de découvrir, d'inventer la balance, comment parviendrons-nous à la construire de manière à pouvoir nous vanter d'avoir construit une bonne balance ?

Dans la balance primitive, faite avec notre règle, nous avons percé la règle d'un trou, et, dans ce trou, planté une pointe de Paris, et il allait si bien de soi que la pointe devait jouer librement dans le trou, que je n'ai même pas pris la peine de vous le dire. Si en effet le trou avait été exactement de la dimension de la pointe, celle-ci aurait fixé la règle à la porte, sans qu'elle pût tourner à droite et à gauche, sous la pression des poids suspendus à ses deux bouts. Il n'y aurait plus eu lutte de deux poids aux extrémités d'un même levier, ou plutôt il n'y aurait plus eu de levier, par conséquent plus de balance.

Mais jouer librement est un mot vague : il y a toujours un frottement plus ou moins grand entre la règle et la pointe, et il est clair que, si nous voulons que le plus petit poids ajouté à l'une des extrémités du fléau, un bout de papier par exemple, rompe l'équilibre, ou, comme on dit, fasse trébucher la balance, il faut réduire presque à rien ce frottement. Ainsi nous aurons une balance sensible.

Aussi voyez ! dans la vraie balance que je vous présente là, le fléau n'est pas percé d'un trou où s'engage une pointe, procédé primitif et qui ne serait

susceptible d'aucune précision, mais repose sur son support par une lame en biseau, en couteau, par le couteau de la balance, et par conséquent s'incline à droite ou à gauche sous la pression du plus petit poids. C'est ainsi que le constructeur a pu être certain que sa balance serait sensible.

L'était-il dès lors que sa balance était bonne ?

Je vous ai déjà dit que ce mot était vague. Et en effet, quelque sensible qu'elle fût, pourrions-nous appeler bonne une balance qui ne serait pas juste ?

— Non sans doute, mais, juste, il est bien facile de constater qu'elle l'est. Si le fléau abandonné à lui-même, sans poids à ses extrémités, se tient horizontal, il faut bien que la balance soit juste !

— Pas nécessairement, et vous avez, ma chère enfant, parlé un peu trop vite. Vous n'avez pas réfléchi que le balancier doit réunir dans son appareil deux conditions qui, en pratique, sont plus difficiles à obtenir que vous ne le pensez. Il faut :

D'abord que le couteau soit au milieu du fléau ; je dis exactement au milieu, pour que les deux bras du levier soient égaux.

Puis que les deux moitiés du fléau soient de même poids, je dis exactement de même poids, pour qu'on ne prenne pas pour un lutin de la pesanteur au service du corps que l'on veut peser, un lutin attaché en réalité au service du levier lui-même.

En fabriquant une balance radicalement et visiblement fausse (fig. 13), et remplissant cependant la condition qui vous semblait suffisante pour qu'elle fût juste, vous reconnaîtrez mieux combien vous vous trompiez tout à l'heure.

Voici cette balance, et j'ai suspendu librement aux deux bouts du fléau les plateaux, dont nous n'avons pas encore parlé, mais que vous connaissez bien, et dans lesquels on met d'un côté le corps à peser, de l'autre les poids marqués. Pour rendre votre erreur plus sensible, j'ai considérablement exagéré les défauts qui l'empêchent d'être juste, Voyez, le constructeur avait l'œil si peu exercé, que, tout en croyant mettre le couteau au milieu du fléau, il l'a mis beaucoup plus près de l'extrémité de droite, et en même temps la main si malhabile, qu'il a, sans s'en apercevoir, fait le bras de levier de droite beaucoup plus lourd que celui de gauche.

Fig. 13.



A vide, sa balance a son fléau horizontal ; mais pourquoi ? parce que le fléau de droite, plus lourd que celui de gauche, disposant, par contre, d'un bras de levier moins long, il y a compensation. Mais la balance en est-elle, pour cela, plus juste ?

Évidemment non. Si je mets en effet un poids de 20 grammes dans chaque plateau, les 20 grammes de gauche agissant au bout d'un bras de levier plus long que celui des 20 grammes de droite, l'emporteront, et le fléau s'inclinera à gauche.

Vous voyez, ma chère enfant, que vous aviez parlé trop vite, et qu'il n'est pas aussi facile que vous le supposiez, de s'assurer de la justesse d'une balance. Il y faut, vous le voyez, deux opérations : il faut d'abord qu'à vide le fléau soit horizontal, puis que, les deux plateaux recevant le même poids, le fléau reste horizontal.

Et si vous essayez ces deux expériences sur les balances à bon marché, celles des épiciers ou des boulangers, vous reconnaîtrez bientôt qu'elles réussissent fort rarement. Des balanciers aussi maladroits que celui par qui nous avons supposé construite notre balance fantaisiste de tout à l'heure, on n'en voit pas beaucoup. Mais d'assez adroits pour construire des balances parfaites, les chimistes, qui payent ces balances 500, 1000, 2000 et jusqu'à 6000 francs, savent qu'il n'y en a guère.

Aussi ceux qui n'ont pas le moyen d'y mettre ces prix exorbitants, ont pris le parti de s'en passer, et vous allez voir qu'avec des balances fausses, ils ont trouvé le moyen de faire des pesées justes.

Il n'y a pas longtemps, car le physicien qui a imaginé ce procédé, Borda, est presque notre contemporain, puisqu'il n'est mort qu'en 1799.

Et pourtant ce procédé est si simple, qu'au lieu de vous l'expliquer, je vais vous le faire trouver vous-même.

Je suppose qu'en agissant successivement, Marthe et vous, au bout du même bras de levier, vous parveniez toutes deux à soulever une même pierre : avez-vous besoin de connaître la longueur du bras de levier et le poids qu'il vous permet de soulever, pour pouvoir affirmer que vous êtes, Marthe et vous, exactement de la même force ?

Vous répondez non, sans hésiter. Quelle que soit en effet la longueur du levier, et quel que soit le poids, puisque c'est le même levier, et puisque ce même levier vous permet de soulever le même poids, il est bien évident que deux fillettes, qui, avec les mêmes moyens, produisent le même effet, sont de même force.

Eh bien ! allez chercher la balance de fantaisie que nous a faite le maladroit constructeur de tout à l'heure. Dans le plateau de droite mettez cette pièce de 5 francs en argent, et dans l'autre versez doucement du sable jusqu'à ce que le fléau soit horizontal. Voilà qui est fait !

En ce moment, la pièce de 5 francs, au bout d'un bras de levier que nous ne connaissons pas, tient en équilibre un poids de sable que nous ne connaissons pas davantage. Ainsi tout à l'heure, à l'aide d'un levier de longueur inconnue, Marthe soulevait une pierre de poids inconnu.

Puis, sans rien déranger, vous avez pris la place de Marthe. Donnez de même, sans rien déranger, la place de la pièce de 5 francs à ces poids marques, qui, comme elle, équilibrent le poids du sable, et lisez-en la marque.

— 25 grammes !

— Concluez donc, ma chère enfant que 5 francs d'argent pèsent 25 grammes, avec autant de certitude que vous avez conclu tout à l'heure que Marthe et vous étiez de même force, et concluez-en du même coup, qu'on peut, par la méthode de la double pesée de Borda, faire avec une balance fausse, une pesée juste. C'est ce que j'avais promis de vous faire trouver.

Et maintenant, j'en aurais fini avec les balances, s'il ne me restait, sur un sujet si important, quelques détails intéressants à ajouter.

Je vous ai dit qu'une bonne balance doit être à la fois juste et sensible ; mais il ne faut pas, coûte que coûte, et au même degré pour toutes les balances, rechercher ces deux qualités.

Juste, il est clair qu'une balance ne l'est jamais trop. Et cependant, l'extrême justesse ne s'obtenant qu'à condition d'élever considérablement

le prix de la balance, il est clair qu'on peut fermer les yeux sur un léger défaut, même de justesse, quand la balance est destinée à peser des objets de peu de valeur, comme les balances des boulangers, des épiciers, etc.

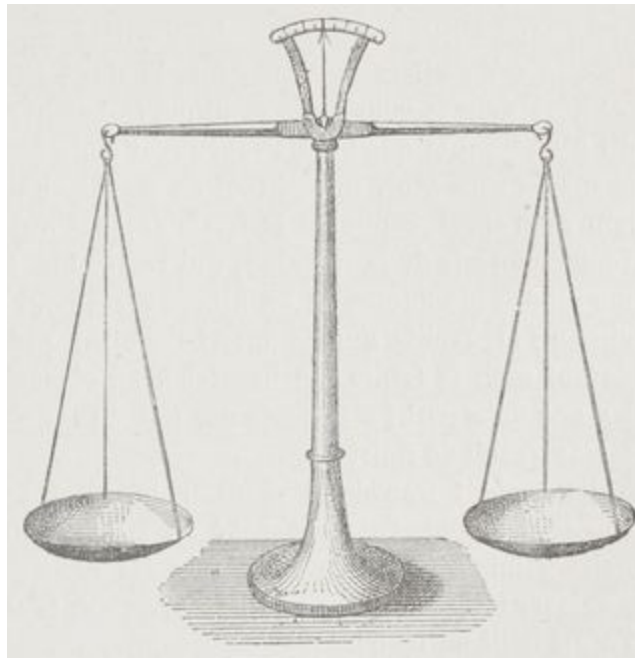
Quant à la sensibilité, cette vertu des balances que le plus léger poids fait trébucher, elles la doivent, vous vous le rappelez, à la suspension du fléau par l'intermédiaire du couteau, et aussi à d'autres dispositions dont je me dispense de fatiguer l'attention d'une fillette de votre âge. Mais, cette vertu, il est, quelle qu'en soit l'origine, inutile qu'elles la possèdent toutes au même degré.

Et inutile n'est même pas assez dire.

En mécanique pratique, en effet, il est rare qu'une qualité donnée à une machine ne s'achète pas par quelque inconvénient, conséquence de cette qualité même. Il est fort agréable de se servir à table d'un couteau qui coupe bien, mais on risque de se couper les doigts ; certaines serrures perfectionnées ne peuvent être crochétées par les vo. leurs : mais qu'un petit ressort d'acier qui les rend incrochetables vienne à se briser, et elles ne peuvent plus être ouvertes par la clef même de leur propriétaire.

De même, une balance très sensible demande, en raison même de sa sensibilité, un temps très long pour se mettre en équilibre ; et dès lors, si les denrées que la balance est destinée à peser sont de peu de valeur, le temps que la pesée fait perdre vaut plus que le faible bénéfice qu'une précision exagérée peut procurer.

Fig. 14.



Les constructeurs de balances tiennent compte des conditions que ces appareils vont remplir. En tout cas, et pour abréger la durée des oscillations du fléau, et par suite celle de la pesée, ils fixent au fléau une languette (fig. 14), espèce d'aiguille qui oscille avec lui, et dont la pointe, se mouvant sur un cadran, permet, avant même que le fléau soit arrêté, de reconnaître si ce fléau penche plus d'un côté que de l'autre.

Cette languette sera la dernière particularité que je vous donnerai sur la balance. Là en effet, pas plus que dans tous les appareils que j'ai eu ou que j'aurai à vous décrire, les détails ne sont importants. Ce sont les principes qu'il faut comprendre, et le prochain entretien, sur la balance romaine, nous donnera l'occasion de revenir sur ces principes.

XI^e ENTRETIEN

LA BALANCE ROMAINE

En vous quittant hier, ma chère enfant, après notre dernier entretien, je m'en allais tout songeur, la tête basse, assez mécontent de la manière dont je vous avais expliqué la balance, pensant que j'en avais dit bien long et que j'avais cependant omis bien des choses, me reprochant de vous avoir infligé tant de mots techniques, et me demandant, non sans effroi, comment je ferais aujourd'hui pour vous parler sans vous endormir de la romaine, qui ressemble à la balance assez pour me rendre monotone, et en diffère assez pour me faire craindre d'être obscur ; et, tandis que je marchais ainsi préoccupé et sans regarder devant moi, je faillis me heurter à un obstacle dont me détournèrent les cris de « gare ! » poussés par une bande de joyeux écoliers dont la classe venait de finir.

Ils avaient trouvé un madrier laissé là par les charpentiers qui réparent l'école, l'avaient posé en travers sur une grosse poutre, et deux gamins, à califourchon vers les deux extrémités, s'amusaient à s'enlever alternativement en se balançant. C'est contre ce madrier que j'avais failli me heurter.

Je m'arrêtai à regarder ce jeu, qui ne changeait pas le cours de mes idées, puisque c'était un levier du premier genre qui faisait l'amusement de ces gamins, et qui avait failli m'estropier.

Au bout d'un instant, l'un des enfants qui se balançaient en eut assez. Il descendit du madrier, et sa place fut immédiatement prise par un autre. Mais celui qui descendait était un gros gaillard de treize à quatorze ans, grand, bien membre, large d'épaules, et qui devait peser bon. Celui qui le remplaça était au contraire un petit bonhomme de six à sept ans au plus, petit, fluet, qui semblait peser comme une plume. Aussi, comme il avait pris exactement la place de son camarade, et que l'enfant assis à l'autre bout du madrier n'avait pas changé, le petit avait beau se trémousser, il était trop léger et ne parvenait pas à faire descendre le madrier dont le balancement alternatif était devenu impossible.

LE JEU PUT RECOMMENCER AUSSITOT.



Il aurait donc fallu cesser le jeu, et déjà les camarades restés par terre criaient au petit de descendre, quand le grand, qui était assis à l'autre bout du madrier, s'appuyant sur les deux mains, d'un bond s'approcha de plus d'un mètre, et le jeu put recommencer aussitôt, comme si le grand enfant fût subitement devenu plus léger de moitié.

Ce grand semblait d'ailleurs être le chef du jeu, car je vis plusieurs fois s'asseoir en face de lui des enfants de tout âge et de toute corpulence, et toujours, en se déplaçant adroitement sur son madrier, il parvenait à leur faire équilibre.

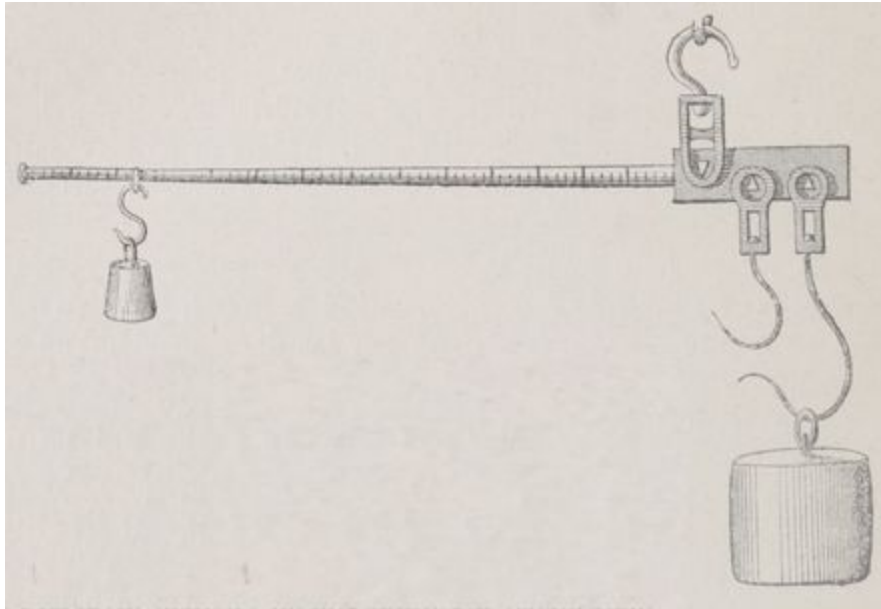
Vous trouvez, n'est-ce pas, la chose si naturelle que vous ne comprenez pas pourquoi je vous la conte ? C'est que le jeu de ces enfants m'avait fait trouver ce que je cherchais, et que je ne suis plus, grâce à eux, embarrassé du tout pour vous expliquer la romaine.

La romaine ? Eh bien, c'est le madrier-balançoire ! A un bout, divers gamins, de poids fort différents, mais toujours assis à la même place, exercent, sur un levier qui ne change pas, des pressions représentées par leurs poids. De l'autre côté de la poutre qui sert de couteau à cette singulière balance, un même enfant, en s'éloignant plus ou moins de la poutre selon que les gamins assis en face de lui sont ou moins ou plus pesants, parvient ainsi à leur faire équilibre. Et maintenant supposez que trois enfants dont nous aurions connu les poids, des enfants pesant, par exemple, 20 kilogrammes, 30 kilogrammes et 40 kilogrammes, se soient successivement assis en face de celui que nous avons appelé le chef du jeu, et que, aux trois points du madrier où le chef s'est placé pour leur faire équilibre, nous ayons écrit à la craie 20, 30, 40 kilogrammes, vous aurez une représentation grossière mais fidèle de la romaine.

Oui, la romaine est, comme la balance, un levier du premier genre ; mais, tandis que, dans la balance, pour équilibrer les objets qu'on veut peser, on emploie des poids différents agissant toujours au bout d'un même levier, dans la romaine au contraire, c'est toujours le même poids qu'on fait lutter, au bout de bras de levier différent, contre les objets qu'on veut peser.

Sur le fléau, un poids peut glisser (fig. 15) d'un bout à l'autre, pendant qu'à un crochet, soutenu sur un couteau du côté opposé au poids, est suspendu le corps qu'on veut peser. Quand l'équilibre est établi, on lit sur le fléau, où des coches numérotées sont creusées pour recevoir la lame qui porte le poids, le nombre de kilogrammes auquel correspond cette position du poids.

Fig. 15.



C'est, vous le voyez, ma chère enfant, la reproduction exacte du madrier où nos gamins se balançaient.

Cet instrument, simple, bon marché, nullement fragile, n'est pas susceptible d'une grande précision, mais, en raison de sa rusticité même, il est fort commode quand on a à peser des objets un peu lourds et surtout un peu encombrants, qui ne prendraient pas place aisément dans le plateau d'une balance.

Vous vous ferez montrer aisément une romaine, car il y en a partout ; il n'est donc pas nécessaire d'y insister plus longtemps, et nous pouvons terminer là l'étude des appareils de pesage, car la complication des leviers qui sont mis en jeu dans la bascule, ou balance de Quintenz, m'interdit d'en dire autre chose que le nom à une fillette de votre âge.

XII^e ENTRETIEN

COMMENT LES CORPS TOMBENT

Vous souvenez-vous qu'un jour que je vous disais : « Tous les corps tendent à tomber vers la terre », vous m'avez demandé : « Pourquoi ? »

Je vous répondis que je ne me mêlais pas, en fait de lois naturelles, de répondre jamais à la question Pourquoi, mais je vous promis de répondre à la question Comment.

Et voici que je m'aperçois que j'ai oublié cette promesse.

Je ne vous ai pas dit comment les corps tombent.

Vous le devinerez de vous-même, si vous vous rappelez que la pesanteur, qui les fait tomber, est une force continue.

Prenez votre cerceau et préparez-vous à le faire rouler sur le lac du bois de Boulogne, en ce moment gelé, et si glissant, qu'en vérité je crois qu'on y pourrait vérifier la propriété de l'inertie de la matière. Oui, je crois qu'un seul coup de baguette donné au cerceau le mettrait en route en mouvement uniforme pour ne plus s'arrêter, ou du moins, si ce n'est pas absolument vrai, il n'y aurait pas besoin de grands efforts d'imagination pour supposer que cet idéal est réalisé.

Mais ce n'est pas le mouvement uniforme, résultat d'un seul coup de baguette, ou d'une force instantanée, que nous voulons étudier, c'est le mouvement que produit une force continue. Et pour cela, c'est encore votre cerceau et votre baguette qui vont nous servir.

Non qu'une série de coups de baguette frappés successivement soient la représentation tout à fait exacte d'une force continue ; mais en répétant suffisamment les coups de baguette, nous aurons l'image assez fidèle de la force continue, comme les sauts rapides de l'aiguille des minutes sur le cadran de la pendule nous donnent la sensation d'un mouvement continu.

En réalité, quand d'un balcon du cinquième étage, je laisse aller une pierre, la pesanteur lui donne vers la terre une impulsion, suivie, non pas une seconde, ni un dixième de seconde, ni un centième de seconde après, mais tout de suite, d'une seconde impulsion ; puis aussitôt d'une troisième, puis d'une quatrième, et ainsi de suite.

Il n'en est pas moins vrai que votre premier coup de baguette imite la première impulsion de la pesanteur, et que le second, le troisième, le quatrième et ainsi de suite, représentent, quoique moins lestes qu'elles, les impulsions successives qui hâtent la chute du corps.

« Qui hâtent, » voilà un mot qui m'est échappé. Car nous ne savons pas encore si la chute des corps est hâtée, ou, comme on dit, accélérée. Mais votre cerceau va nous le dire.

Vous lui donnez en effet un premier coup de baguette qui le lance à raison d'un mètre par seconde, et, si vous vous en teniez là, il courrait indéfiniment sur la glace unie, à raison d'un mètre par seconde.

Mais voilà qu'après un dixième de seconde, quand il n'a encore parcouru qu'un dixième de mètre, ou un décimètre, un nouveau coup de baguette vient l'atteindre, qui, s'il était immobile, l'obligerait à parcourir un mètre par seconde, et qui, tombant sur un cerceau déjà forcé de faire son mètre par seconde, double la dose et lui imprime désormais une vitesse de deux mètres par seconde. C'est-à-dire que si vous le laissiez maintenant tranquille, il courrait indéfiniment, et parcourrait, dans cette course indéfinie, deux mètres par seconde. Mais à peine a-t-il pris cette nouvelle allure, qu'au bout d'un nouveau dixième de seconde, voilà un nouveau coup de baguette qui ajoute encore son mètre par seconde aux deux dont le cerceau était pourvu, et ainsi de suite indéfiniment.

Si maintenant nous récapitulons les aventures de ce cerceau si battu, nous trouverons qu'après deux dixièmes de seconde, il était pourvu de deux fois plus de vitesse qu'après un dixième ; qu'après trois, quatre dixièmes de seconde, sa vitesse était trois, quatre fois plus grande qu'après un ; en un mot, que les vitesses acquises par le cerceau après des temps deux, trois, quatre fois plus longs, sont deux, trois, quatre fois plus grandes.

Oserais-je, ma chère enfant, vous dire le mot des géomètres ? Et pourquoi pas ? Vous l'avez certainement employé bien souvent sans être géomètre, et tous les mots français peuvent s'employer avec une petite Française comme vous.

Certainement si quelqu'un a ri devant vous du peu de longueur de la canne qu'on a donnée à votre petit frère, vous avez dit : Eh ! elle est en proportion de sa taille ! ou proportionnée, ou encore proportionnelle à sa taille ! Vous vouliez dire : Si mon petit frère est deux fois plus petit que mon papa, eh bien, il est naturel que sa canne soit deux fois plus courte que celle de papa !

Et de même, puisque au bout de temps deux, trois fois plus grands, les vitesses acquises par votre cerceau sont deux, trois fois plus grandes, les géomètres ont raison de dire que les vitesses acquises sont proportionnelles aux temps employés à les acquérir.

Mais que vais-je parler de votre cerceau ? Les géomètres pensent bien à votre cerceau ! C'est de la pesanteur qu'ils s'occupent ; de la pesanteur que nous oublions, qui à la vérité, traite les corps qu'on lui livre absolument comme vous traitez votre cerceau quand vous le frappez continuellement de coups égaux avec votre baguette. Aussi est-ce de la pesanteur qu'ils disent :

« Les vitesses acquises par un corps sous l'influence de la pesanteur sont proportionnelles aux temps employés à les acquérir. »

Demandez à votre frère, non pas à celui de la canne, mais au grand, à celui qui étudie la mécanique, et vous verrez si ce n'est pas ainsi que son professeur lui a formulé cette loi !

Ainsi les corps qu'on abandonne à eux-mêmes tombent de plus en plus vite, et, si vous voulez bien y réfléchir, vous vous apercevrez que cette loi, qui vous semble nouvelle, il y a longtemps que vous la savez.

Vous voulez prendre, à la bibliothèque, un livre que vous n'atteignez qu'en levant le bras de toute sa hauteur. Vous manquez votre coup, et il vous tombe sur la tête.

A moins qu'il ne s'agisse d'un gros in-folio, il ne vous fera pas grand mal. Que ce même livre au contraire vous tombe sur la tête d'un cinquième étage, il vous tuera. Pourquoi sa chute est-elle inoffensive dans le premier cas et si dangereuse dans le second ? C'est le même livre et par conséquent le même poids ; la même tête, et par conséquent la même fragilité. Il n'y a que la hauteur qui ne soit pas la même. Oui, mais avec la hauteur, augmente la vitesse de la chute, et par conséquent l'énergie du choc que cette chute vous fait subir. Vous voyez donc bien que vous savez que les corps qui tombent tombent de plus en plus vite, et que je ne vous l'ai pas appris.

Ce que vous ne saviez pas, en revanche (mais vous allez le comprendre aisément), c'est qu'une pierre, qu'une main vigoureuse lance de la rue au cinquième étage, retombe dans la rue précisément avec la même vitesse avec laquelle elle en est partie pour monter au cinquième étage.

Imaginez qu'ayant lancé votre cerceau d'un vigoureux coup de baguette, et pendant que vous le laissez s'éloigner d'un mouvement qui restera uniforme si rien ne s'y oppose, un gamin lui donne un petit coup de baguette en arrière, puis un instant après un second, puis un troisième et

ainsi de suite : chacun de ces coups diminuera la vitesse du cerceau ; chacun lui enlèvera un peu de la vitesse qu'il a reçue de votre coup de baguette. Et de ralentissement en ralentissement, le cerceau finira par s'arrêter.

Si alors le gamin continue à le frapper constamment de ses petits coups de baguette, il le fera repartir en sens inverse, et, chacun de ses petits coups lui donnant précisément autant de vitesse qu'il lui en enlevait tout à l'heure, le cerceau repassera par tous les points du chemin qu'il a parcouru, en sens inverse, mais avec la même vitesse ; et quand il arrivera à vous, il aura justement la même vitesse avec laquelle vous l'avez fait partir.

De même pour la pierre lancée de la rue au cinquième étage : quand elle part, elle emporte avec elle le furieux élan que lui a donné celui qui l'a lancée. Mais, comme la main qui l'a lancée ne l'accompagne pas, elle ne peut pas renouveler sa provision de vitesse.

Or, à peine partie, les petits lutins suspendus à toutes ses molécules pour y exécuter les ordres de la pesanteur, se mettent à la tirer de haut en bas, détruisant à chaque traction un peu de la vitesse qu'elle a emportée d'en bas. Comme le cerceau de tout à l'heure, peu à peu la pierre se ralentit. Arrivée au cinquième étage, il ne reste plus rien de sa première vitesse : les petits lutins ont tout pris. Mais ils ne la lâchent pas pour cela, et, maintenant qu'ils sont les plus forts, ils tirent, tirent, lui rendant à chaque étage précisément la vitesse qu'ils lui avaient prise à cet étage, mais en sens contraire, si bien qu'arrivée en bas, elle ajustement la vitesse avec laquelle elle est partie.

Ainsi recevoir de bas en haut, à la fenêtre du rez-de-chaussée, le choc d'une pierre qui est lancée de la rue pour monter jusqu'au cinquième étage, ou recevoir de haut en bas le choc d'une pierre qui, du cinquième étage, arrive à cette même fenêtre, c'est exactement la même chose, et vous savez maintenant ce que c'est que cette vitesse.

Goliath aussi le sut, quand il reçut au milieu du front la pierre partie de la fronde de David. Mais où vais-je m'égarer et pourquoi ai-je eu cette malheureuse réminiscence de l'Écriture sainte ? Me voilà maintenant forcé de compléter une explication commencée, et si vous saviez, ma chère enfant, comme cette parabole est difficile à expliquer à une fillette de votre âge !

Et d'abord, quand je parle de parabole, ne croyez pas que je dise la parabole de David et Goliath, comme on a dit la parabole de l'Enfant

prodigue. Non, je pensais au chemin que la pierre de David a parcouru pour aller de sa fronde à la tête du géant, au sillon qu'elle a tracé dans l'air, à la courbe, pour employer le vrai mot, qu'elle a décrite, car cette courbe, les savants l'appellent une Parabole.

Vous la connaissez bien ; car les câbles des ponts suspendus dessinent une parabole ; mais la parabole des pierres que l'on lance horizontalement est disposée à l'inverse de celle des ponts suspendus, qui tournent en haut leur concavité. Elle présente au contraire sa concavité à la terre, et vous n'en serez pas surprise si vous songez à ce qui doit se passer quand vous lancez une pierre horizontalement.

Cette pierre emporte avec elle la vitesse que lui a imprimée votre main, et, si la pesanteur n'était pas là pour la déranger, elle conserverait cette vitesse indéfiniment, et s'en irait en ligne droite et en mouvement uniforme, pendant les siècles des siècles.

Oui, mais la pesanteur est là ; et à peine la pierre a-t-elle quitté votre main, les petits lutins se mettent à ses trousses pour la tirer à terre. Au commencement, votre élan étant bien plus fort que le leur, la pierre baisse peu, et la première partie de sa course diffère peu de la ligne droite sur laquelle vous l'avez lancée. Mais bientôt, comme la vitesse que vous avez imprimée horizontalement à la pierre reste la même, tandis que la vitesse verticale qu'elle reçoit d'instant en instant de la pesanteur s'accroît toujours, la pierre se rapproche de plus en plus dans sa chute de la direction verticale, et l'a presque atteinte quand elle arrive à terre.

Ces changements incessants de direction font dessiner en l'air par la pierre la courbe qu'on appelle la parabole, et que je suis bien aise de vous avoir nommée, pour que vous ne croyiez pas, comme bon nombre de chasseurs, que lorsqu'ils tuent un lièvre, le plomb a couru en ligne droite de leur fusil jusqu'au lièvre.

Non, ce plomb, qui avait reçu de la poudre une impulsion autrement puissante que celle que vous donnez avec le bras à la pierre que vous lancez, a, plus longtemps que la pierre, lutté contre la pesanteur ; il s'est abaissé plus lentement que la pierre ; la parabole a été moins courbe, la trajectoire plus tendue, c'est le mot consacré. Mais il n'existe et ne peut exister ni sur la terre, ni dans aucune des planètes ou des étoiles de l'univers un armurier assez habile pour faire un canon ou un fusil qui lance ses projectiles en ligne droite. Partout où la pesanteur existe, et elle existe dans tous les astres de l'univers, vous saurez désormais

Qu'un énorme boulet qu'on lance avec fracas,
Doit mirer un peu haut pour arriver plus bas ;
Que d'un tube de bronze aussitôt la mort vole,
Dans la direction qui fait la parabole.

Et pour que vous soyez tout à fait édifiée sur ces paraboles, je vais vous dire où vous pouvez en voir tous les jours.

N'est-il pas vrai que si, après avoir lancé votre pierre vous en aviez lancé une série successivement avec la même force et dans la même direction, toutes ces pierres se suivant à intervalles pressés auraient, ensemble, matériellement dessiné pour l'œil la parabole qu'elles suivaient l'une après l'autre ?

Eh bien, cette condition se trouve réalisée dans toutes les bornes-fontaines. Au sortir du tuyau, chaque goutte d'eau suit successivement le même chemin que la goutte qui la précédait, et toutes ensemble dessinent en l'air-la parabole (fiy. 16).

Quand l'eau est chassée avec force, ce qui arrive quand le réservoir d'où elle part est élevé (je vous expliquerai cela plus tard), l'impulsion horizontale étant grande, la trajectoire est tendue, et l'eau se dirige presque en ligne droite sur le pavé de la rue.

Fig. 16.



Quand, le réservoir étant bas, l'impulsion de l'eau est faible, la trajectoire ressemble à celle d'une pierre lancée par la faible main d'un enfant.

Mais toujours le jet liquide décrit une parabole, la courbe obligée de tout corps lancé dans une direction autre que la direction verticale.

Et maintenant, ma chère enfant, nous en aurons bientôt fini avec la pesanteur ; mais je ne peux pas l'abandonner sans vous dire au moins un mot des pendules. Ce sera pour le prochain entretien.

XIII^e ENTRETIEN

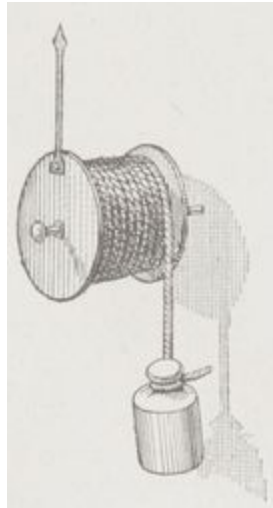
LE PENDULE

Oui, des pendules ; et si vous avez, ma chère enfant, fait une moue d'étonnement en m'entendant associer les deux idées de pesanteur et de pendule, c'est que, sur ce mot pendule vous avez fait, au moins en pensée, un calembour.

Ce n'est pas, en effet, de la pendule que je veux vous parler aujourd'hui, mais du pendule, une nouvelle connaissance que je prétends vous faire faire.

Tout corps pesant suspendu de manière à pouvoir osciller librement autour du point où il est suspendu est, comme son nom l'indique, un pendule ; et si vous me demandez pourquoi on a donné, au genre près, le même nom à la petite horloge que nous appelons une pendule, je vous répondrai que, sans le pendule, la pendule serait une radoteuse qui justifierait tout à fait la définition qu'en donne je ne sais quel personnage de vaudeville : « La pendule est un instrument destiné à marquer l'heure qu'il n'est pas. » Et comme la pendule n'est pas un de ces personnages contre lesquels la loi ne permet pas de faire la preuve de la diffamation, je vais immédiatement faire la preuve de la mienne.

Fig. 17.



Enroulez une ficelle sur une bobine (fig. 17). Plantez dans le mur un clou horizontal, et enfillez ce clou dans le trou de la bobine. Suspendez maintenant un poids à la ficelle, et laissez aller le tout.

N'est-il pas vrai que le poids va faire, en déroulant la ficelle, tourner la bobine ? que si vous avez cloué une aiguille sur cette bobine, l'aiguille tournera avec elle ? que vous pourrez découper en papier un cadran devant la division duquel l'aiguille défilera, et que, par conséquent, cet appareil primitif pourra à la rigueur vous représenter une pendule ?

Mais qu'elle sera mauvaise, cette pendule !

Oh ! ne croyez pas que ce soit parce que l'aiguille tourne trop vite ! Ce serait un inconvénient, sans doute, mais auquel il serait bien facile de porter remède.

Est-ce parce qu'il n'y a qu'une aiguille que la pendule ne vaut rien ? Point du tout. Rien ne serait plus aisé que d'en mettre deux.

Pourquoi donc ?

Quand vous passerez avec votre grand frère devant le Palais de Justice, demandez-lui de vous traduire l'inscription latine qui orne le cadran bleu du quai de l'Horloge.

— Machina quæ bis sex....

— C'est cela même : « La machine qui, avec tant de justesse, partage douze heures.... »

Cette vieille inscription, qui, depuis trois siècles, réjouit les amateurs de calembours, en exprimant d'un seul mot la justice des juges et la justesse des horloges, vous montre, ma chère enfant, que les aiguilles ne doivent,

pas plus que la justice, marcher d'un pied boiteux ; que leur course doit être régulière, et (puisque ces termes techniques ne vous font plus peur) leur mouvement uniforme.

Or, comment le serait-il, quand la bobine se déroule sous l'action d'un poids qui tombe de plus en plus vite ? Et qu'importe qu'il s'agisse de la grossière bobine autour de laquelle vous avez négligemment attaché votre ficelle, ou du barillet perfectionné sur lequel l'horloger a savamment enroulé la sienne ? Il n'y a pas d'horloger qui tienne, et un poids qui tombe ne saurait tomber d'un mouvement uniforme.

Voilà pourquoi votre pendule ne vaut rien, et pourquoi la pendule de l'horloger ne vaudrait pas davantage, si un homme de génie, un Hollandais nommé Huyghens, ne se fût avisé, vers la moitié du dix-septième siècle, que le pendule avait une propriété qui pouvait corriger les imperfections des horloges. C'est même depuis ce temps que les petites horloges de maison prirent le nom de pendules.

— Et quelle est cette propriété ? — Quand vous l'aurez reconnue vous-même, je vous dirai de quel beau nom les savants l'ont baptisée ; mais, avant de la nommer, il faut vous la faire connaître.

Prenez un fil à plomb, et suspendez-le librement à un clou. Voilà le fil à plomb transformé en pendule.

Faites-le osciller, maintenant, en l'écartant un peu de sa direction verticale et l'abandonnant à lui-même. Rien n'est plus facile que de compter, à intervalles égaux, un, deux, trois, etc., pendant que le pendule oscille, et de reconnaître combien vous avez compté de fois dans le temps qu'a mis le pendule à aller d'une extrémité à l'autre de sa course.

Quand vous l'aurez bien constaté, continuez à compter pendant les oscillations suivantes, et vous reconnaîtrez que vous compterez le même nombre de fois pendant chacune des oscillations.

Toutes les oscillations d'un pendule ont donc la même durée, et non pas à peu près, comme vous pourriez le reconnaître par le procédé grossier que je viens de vous indiquer, mais exactement, ainsi que le prouvent les vérifications les plus minutieuses, et ainsi que le calcul le démontre aux géomètres.

C'est cette propriété que les savants ont exprimée en grec en disant que les oscillations d'un même pendule sont isochrones (isos-égal, et chronos - temps), et c'est elle que Huyghens a utilisée pour régulariser le mouvement des horloges.

Voici comment.

Nous avons laissé notre poids déroulant la ficelle de la bobine et l'entraînant avec lui d'une vitesse toujours croissante, si bien que si, au début, l'aiguille fixée à la bobine avait fait un tour du cadran en une minute, votre grand frère vous dirait qu'elle en fera trois dans la deuxième minute, cinq dans la troisième, sept dans la quatrième, et ainsi de suite, toujours par nombres impairs, comme les grains de sel que M. Purgon faisait mettre dans la cuisine de ses malades.

Voilà une pendule qui pourrait se vanter de terriblement avancer dans vingt-quatre heures. Comment l'en empêcher ? par quel moyen régler la pendule ?

A côté de la bobine suspendez à un clou un pendule ; par exemple, votre fil à plomb de tout à l'heure. Maintenant, faites-le osciller, et chaque fois qu'il arrive à l'extrémité de sa course, arrêtez un instant avec la main le poids dont la descente déroule la ficelle. Ce poids, partant du repos après chacun de ses arrêts, descendra toujours avec la même vitesse ; l'aiguille fera toujours un tour par minute, et votre bobine sera devenue un instrument propre à mesurer le temps, c'est-à-dire une vraie pendule.

Je ne vous dis pas que ce sera une pendule très commode. Il est clair en effet que l'obligation de vous tenir constamment plantée devant le poids qui descend, pour l'arrêter à chaque oscillation du pendule, rendrait l'instrument peu pratique. Il n'en est pas moins vrai que le pendule nous a fourni un moyen — incommode. — grossier, — point pratique, — tout ce que vous voudrez, mais sûr, — de régler la pendule. L'idée trouvée, c'est peu de chose de la rendre pratique, et si vous vous faites montrer la pendule qui est sur votre cheminée, ou mieux encore une pendule à poids, vous verrez qu'elle y est réalisée de la manière la plus simple.

Votre bobine, transformée par l'horloger en barillet, reçoit un grand nombre de tours d'une corde au bout de laquelle est suspendu un poids.

Ce poids tend à faire tourner le barillet de plus en plus vite et, comme c'est lui qui, par l'intermédiaire de quelques roues d'engrenage, fait à son tour mouvoir les aiguilles, ces aiguilles iraient, elles aussi, de plus en plus vite, et la pendule ne cesserait pas d'avancer.

Mais le pendule ou balancier est là. Au lieu d'être un poids au bout d'un fil, le balancier est une masse pesante, ayant la forme d'une grosse lentille suspendue à l'extrémité d'une tige rigide, d'une mince lame d'acier.

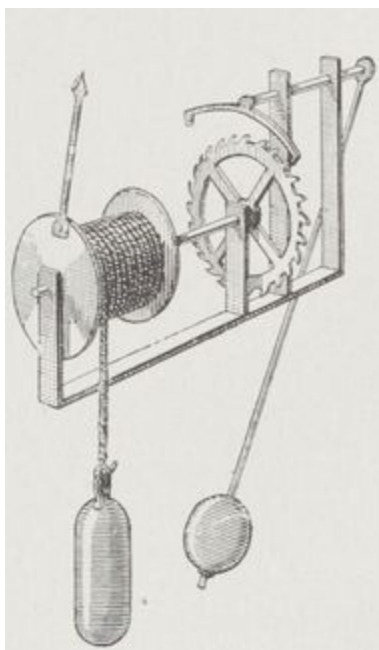
A la partie supérieure, par laquelle cette tige est suspendue, elle jette de chaque côté de l'axe de suspension une espèce de bras recourbé, qui la fait ressembler absolument à une ancre de navire.

Naturellement, à chaque oscillation du balancier, ces deux bras, les deux crochets de l'ancre, oscillent avec lui, et ils sont placés de telle sorte qu'à l'extrémité de chaque oscillation, chaque crochet vient à son tour buter contre une dent d'une roue que le barillet entraîne avec lui.

Qu'arrive-t-il alors ? Le crochet de l'ancre arrête la roue (fig. 18), qui arrête le barillet, qui arrête le poids, et voilà mécaniquement réalisés, et sans que vous soyez obligée de surveiller l'appareil, ces arrêts successifs que vous n'obteniez tout à l'heure qu'en mettant à chaque oscillation du pendule la main sous le poids.

Voilà donc aussi la pendule réglée, puisque c'étaient ces arrêts successifs qui assuraient la régularité du mouvement de ses aiguilles. Mais, en même temps, il se produit un autre résultat non moins heureux.

Fig. 18.



Quand vous avez suspendu, au début de cet entretien, un fil à plomb à un clou et l'avez fait balancer ou osciller autour de ce clou, si vous l'aviez abandonné à lui-même et étiez allée faire un tour de promenade, vous l'auriez, au retour, trouvé arrêté.

Ce n'est pas que ce poids, qui oscille au bout de la ficelle, ait rompu en visière à l'inertie, et possède, plus qu'aucun autre corps, la propriété de s'ôter à lui-même le mouvement ; mais, comme il oscille dans l'air, il cède aux molécules d'air qu'il heurte dans sa course, une portion de plus en plus grande de son mouvement, et, quand il a tout cédé, il s'arrête, comme s'arrêtent votre cerceau, et la boule de votre croquet, quand vous les faites rouler sur un terrain rugueux.

Quand donc vous vous êtes mise en faction devant votre bobine, arrêtant à chaque oscillation du pendule le poids prêt à prendre le mors aux dents, vous arriviez bien à régler le pendule, mais non pas pour longtemps ; car aussitôt le pendule arrêté, adieu la régularité.

Il aurait donc fallu, de temps en temps, restituer à ce pendule, ou balancier, le mouvement que la résistance de l'air lui faisait perdre, et pour cela, le lancer de nouveau, quand vous l'auriez vu prêt à s'arrêter.

Notre ancre, qui déjà vous a suppléée dans la fonction d'arrêter le poids à chaque oscillation du pendule, vous supplée également dans celle de relancer de temps en temps ce même pendule.

Au moment en effet où le crochet de l'ancre, qui, en butant contre la roue dentée, est venu l'arrêter un instant, s'en dégage, lui échappe, cette roue que les petits lutins de la pesanteur n'abandonnent jamais, donne au crochet de l'ancre, en se remettant en marche, une petite poussée qui lui restitue précisément le mouvement que la résistance de l'air lui avait fait perdre.

Ainsi, grâce au service réciproque que se rendent le balancier, en faisant arrêter la roue dentée par l'ancre qui le termine, et la roue dentée, en lançant, après chaque arrêt, le balancier qui perd sa vitesse, la pendule est désormais réglée et en état de marcher autant de temps que les poids en mettent à arriver au bas de leur course.

Et comme c'est en échappant aux dents de la roue que les crochets de l'ancre en reçoivent ce dernier service, tout ce mécanisme a été fort bien nommé, et cette fois en français, échappement à ancre.

Voilà donc la pendule réglée ; et pourtant vous entendez dire à chaque instant : La pendule avance, ou la pendule retarde. Comment peut-elle encore varier, étant munie de l'échappement à ancre ?

Peut-être même avez-vous entendu dire : La pendule avance (ou retarde), il faut dire à l'horloger de venir toucher au balancier.

Toucher au balancier ! qu'est-ce que cela peut bien vouloir dire ?

Vous le saurez, ma chère enfant, quand je vous aurai fait connaître, ou plutôt reconnaître une nouvelle propriété du pendule.

Reprenez votre fil à plomb de tout à l'heure, et accrochez-le à son clou⁴.

A un autre clou voisin, accrochez-en maintenant un autre dont le fil soit plus court que celui du premier. Voilà qui est fait.

Et maintenant écartez-les tous deux à la fois de la verticale, et regardez-les osciller ensemble.

Un simple coup d'œil suffira pour vous faire reconnaître que le pendule dont le fil est plus court oscille plus vite, fait dans le même temps un plus grand nombre d'oscillations que celui dont le fil est le plus long.

Il faudrait plus d'attention et une montre à seconde pour voir que si un pendule oscille deux fois plus lentement qu'un autre, il est quatre fois (deux fois deux fois) plus long ; que s'il oscille trois fois plus lentement, il est neuf fois (trois fois trois fois) plus long, et ainsi de suite. Mais cette précision est un peu minutieuse pour une fille de votre âge, et vous pouvez vous contenter de vérifier et de retenir que « plus un pendule est long, moins vite il exécute ses oscillations ».

Quant au poids de la masse pesante, il n'y fait rien, et si vous faites osciller en même temps au bout de deux fils de même longueur une boule de plomb et une boule de liège, vous verrez que les deux pendules exécuteront ensemble leurs oscillations.

C'est donc la longueur qui fait tout, et vous pouvez, en variant la longueur, faire un pendule qui batte, comme on dit, la seconde, un autre qui batte la demi-seconde, les deux secondes et ainsi de suite.

D'après ce que je viens de vous dire, quand vous aurez, en tâtonnant, trouvé la longueur de fil convenable pour qu'un pendule batte la seconde, vous serez certaine que tout autre pendule, quelle que soit la substance dont il est formé, quel que soit son poids, pourvu qu'il ait la même longueur que le premier, battra, comme lui, la seconde.

Et comme on n'a pas toujours à sa disposition une montre à seconde, tandis qu'on trouve toujours un morceau de plomb et un fil de soie pour faire un pendule, il est très utile de savoir de quelle longueur il faut le faire, pour qu'il remplace une montre à seconde.

Et justement il se trouve que cette longueur est facile à retenir, puisque c'est le pendule d'un mètre (ou à peu près) qui bat la seconde.

Et si j'ai dit : ou à peu près, c'est qu'il aurait pu se trouver des critiques minutieux pour me dire que le pendule qui bat la seconde n'a pas un mètre,

et que même il n'a pas la même longueur en Islande et au Sénégal.

Tout cela est vrai ; mais comme, en faisant osciller un pendule d'un mètre, vous obtiendrez la seconde au moins aussi exactement que peuvent vous la donner les trotteuses décorées par les horlogers du nom d'aiguilles des secondes ; comme il vous serait très difficile, avec des fils qui s'allongent plus ou moins selon le poids qu'on y suspend, de tenir compte des quelques millimètres qu'il faudrait retrancher du mètre pour avoir la vraie longueur du pendule qui bat la seconde ; comme ces deux nombres : un mètre pour une seconde, sont très faciles à retenir ; comme enfin ces modestes entretiens ne sont point un traité de physique, je reste dans l'impénitence finale, et persiste à confier le soin de battre la seconde au pendule d'un mètre, qui s'en acquittera comme il pourra.

Quant à la pendule de votre chambre, quand elle avancera, comme cela voudra dire que le balancier, en allant trop vite, laisse trop souvent échapper une dent de la roue, qui en profite pour obéir au poids et prendre la course, vous n'aurez qu'à dire à l'horloger d'allonger un peu le balancier. Vous savez maintenant qu'il ira, plus lentement, ce qui obligera la roue, et par suite l'aiguille, à ralentir sa course, et la pendule à marquer l'heure qu'il est réellement.

Je ne vous promets pas, par exemple, que l'hiver prochain, quand il fera bien froid, votre pendule ne se remette pas à avancer, car le froid..... Mais dans quelle explication allais-je me lancer, grand Dieu ! Laissons là où ils sont le chaud et le froid, dont nous aurons assez d'occasions de reparler plus tard.

Alors je vous promets de vous dire pourquoi le froid fait avancer les pendules et pourquoi le chaud les fait retarder. Contentez-vous pour l'instant de savoir qu'on les empêche d'avancer en allongeant le balancier, et de retarder en le raccourcissant.

XIV^e ENTRETIEN

IDÉE DE LA PRESSE HYDRAULIQUE

Vous rappelez-vous, ma chère enfant, l'histoire de la boule d'or des académiciens de Florence ?

Elle nous a déjà servi deux fois : la première, à nous prouver la porosité de l'or ; la seconde, l'incompressibilité des liquides.

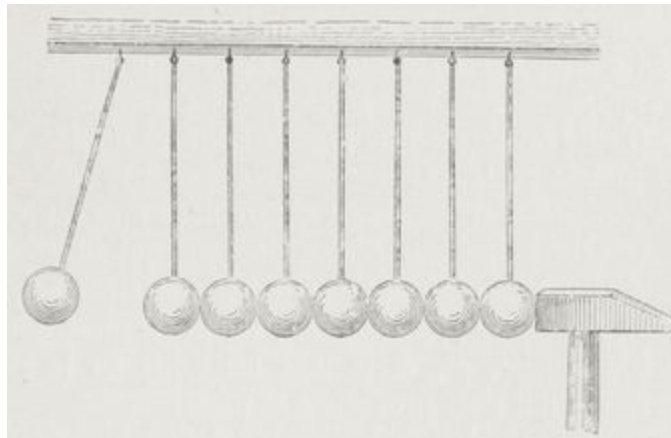
Elle peut encore nous prouver autre chose, et cette nouvelle propriété n'est pas la moins surprenante.

Vous vous rappelez que les académiciens, ayant rempli d'eau leur boule et l'ayant frappée à coups de marteau sur une enclume, furent tout surpris, et certes il y avait de quoi, de trouver l'eau si obstinée à ne pas se comprimer, qu'elle aimait mieux passer à travers les imperceptibles pores de la boule. Mais les académiciens auraient eu un autre grand sujet d'étonnement s'ils avaient fait leur expérience une cinquantaine d'années plus tôt ; c'est de voir que l'eau suintait non seulement du côté opposé à celui sur lequel la boule avait reçu le coup de marteau, mais encore du côté même sur lequel ces coups étaient frappés.

C'est le même étonnement que vous auriez dû éprouver lorsque, il y a quelques jours, regardant boucher une bouteille que, par mégarde on avait laissée trop pleine, vous vîtes le verre se casser, non, comme il était naturel de s'y attendre, au fond de la bouteille, mais à la partie ventrue qui touche au goulot.

Supposons en effet que vous ayez suspendu les huit boules de votre croquet (fig. 19) de manière qu'elles soient bien alignées et que chacune touche ses deux voisines ; si vous donnez à la première un coup de maillet, elle transmettra la pression qu'elle en aura reçue à la deuxième, qui la transmettra à la troisième, puis à la quatrième, et ainsi de suite jusqu'à la huitième, qui partira dans la direction du coup de maillet.

Fig. 19.



Si donc, en avant de cette huitième, vous avez mis un obstacle, une planchette debout, par exemple, la boule en partant la renversera ; mais jamais, au grand jamais, si vous avez enfermé les boules dans une sorte de corridor formé par exemple par deux planches parallèles à la ligne des boules, les parois de ce couloir ne seront renversées.

De même, quand le battoir a frappé sur le bouchon de la bouteille, il était naturel de penser que ce bouchon pousserait les molécules placées immédiatement au-dessous, celles-ci, les suivantes, et ainsi de suite de proche en proche jusqu'au fond de la bouteille, qui sauterait s'il n'avait pas la force de résister. Quant aux parois latérales, pas plus que le couloir qui enfermait les boules du croquet, il n'était naturel de les voir se briser.

De même aussi, quand le marteau des académiciens de Florence s'abattit sur la boule, c'est à l'opposé du marteau et seulement là que l'eau aurait dû suinter.

Or elle suinta, je puis vous l'assurer, tout autour de la boule ; quant à la bouteille, je n'ai pas besoin de vous l'assurer, puisque vous l'avez-vu, elle s'est cassée dans le voisinage du goulot.

Vous n'en avez pas paru très surprise, et les académiciens de Florence ne le furent pas du tout ; mais je crois que c'est pour des motifs différents.

Vous, j'ai peur que ce soit tout simplement parce que vous n'avez pas réfléchi au phénomène ; eux, c'est, je vous l'ai déjà dit, parce que leur expérience fut faite en 1661, et non cinquante ans plus tôt.

En 1661 en effet, Pascal, qui vécut de 1623 à 1662, ce même Pascal qui a écrit les Provinciales et inventé la brouette, avait déjà donné l'explication du phénomène, et cette explication, la voici :

Quand on exerce une pression sur un liquide, ce liquide, à raison de sa grande mobilité, la transmet non pas seulement dans le sens où la pression s'exerce, mais encore dans tous les sens.

Imaginez une salle pleine de gens qui se pressent autour de n'importe quel spectacle. S'il entre un spectateur de plus, chacun joue des coudes pour rattraper sur son voisin la place que le nouveau venu lui a fait perdre, et, dans tous les coins de la salle, se fait sentir la pression qui s'est produite à la porte.

La transmission de la pression dans les liquides est analogue.

Mais analogue seulement, et non pareille, et voici la différence :

Dans la salle de spectacle, chaque spectateur se serre, se fait petit, se comprime, si bien que la pression exercée par le nouveau venu va se perdant de proche, et que les gens du bout de la salle se trouvent bien moins serrés par l'arrivée du nouveau venu, que ceux avec lesquels il est immédiatement en contact.

Il n'en est pas de même avec les liquides. Ils ne sauraient, eux, se faire petits, se comprimer, par la bonne raison qu'ils sont incompressibles. Aussi, la pression qui s'exerce sur une de leurs molécules, il faut de toute nécessité qu'elle se transmette à toutes les autres et par suite aux parois du vase qui les contient.

En haut, en bas, à droite, à gauche, toute pression reçue est une pression transmise, et transmise intégralement, entendez-vous bien ? Si bien que, lorsque vous bouchez votre bouteille, voici ce qui arrive :

Quand vous donnez sur le bouchon un coup de battoir qui équivaut à une pression de 30 kilogrammes, c'est-à-dire quand vous appuyez sur le bouchon avec votre battoir, comme y appuierait un poids de 30 kilogrammes posé dessus, chaque portion de la bouteille dont la surface est la même que celle du bouchon, subit aussitôt une pression de 30 kilogrammes, et si la bouteille casse auprès du goulot, ce n'est pas qu'auprès du goulot la pression ait été plus forte, c'est tout simplement que c'est la partie où le verre est le plus faible.

De même, quand les académiciens de Florence assenèrent sur la boule d'or leurs coups de marteau, la pression développée se transmet à toutes les molécules de l'eau qui y était emprisonnée, et sur tous les points de la boule on vit perler, comme une rosée, les imperceptibles gouttes qui en avaient traversé les pores. Mais si les académiciens, qui ignoraient que l'eau fût incompressible, furent surpris de voir qu'elle l'était au point de passer,

plutôt que de se comprimer, à travers les pores du métal, ils ne le furent pas de voir que l'eau suintait dans tous les sens, car Pascal leur avait appris le principe que vous connaissez maintenant aussi bien qu'eux, et dont il ne me reste plus à vous apprendre que le nom passablement barbare : le principe d'égalité de transmission de pression dans tous les sens.

Même quand on l'a bien comprise, comme vous, ma chère enfant, cette propriété des liquides ne laisse pas de produire des effets qui étonnent encore.

Imaginez, par exemple, qu'à la partie supérieure d'une barrique, au lieu d'un trou de bonde qui y est percé d'ordinaire (fig. 20), on en ait percé onze.

La barrique pleine, on pose les onze bondes sur les onze trous, que nous supposons Hermétiquement fermés par elles, quoique les bondes soient susceptibles d'y monter et d'y descendre librement.

Fig. 20.



Gela fait, sur l'une des bondes vous posez un poids de 10 kilogrammes. La bonde s'enfonce ; l'eau est pressée, et, transmettant la pression aux autres bondes, les soulève.

Les soulève ; et toutefois si vous vouliez les empêcher de se soulever, rien ne serait plus facile, car puisque la pression est intégralement transmise à chaque bonde, il suffirait, sur chacune, de poser un poids de 10 kilogrammes.

Jusque-là, vous ne voyez rien de bien extraordinaire. Attendez !

Au lieu des dix trous de bonde, rien ne nous empêche, en les réunissant, de percer dans la barrique un seul trou aussi grand, à lui seul, que les dix

autres ensemble (fig. 21), et de le fermer par une seule bonde aussi large à elle seule que les dix bondes qui fermaient les dix trous.

Fig. 21.



Alors, sur cette large bonde, nous pourrons poser les 100 kilogrammes que nous posions tout à l'heure sur les dix petites que la grande remplace, et nous arrivons à ce phénomène passablement extraordinaire, que ces 100 kilogrammes et les 10 qui reposent sur la onzième bonde se font équilibre par l'intermédiaire du liquide ; que si vous poussez du bout du doigt la petite bonde, vous faites monter aussitôt les 100 kilogrammes qui reposent sur la grande, exactement comme, dans une romaine où un poids de 10 kilos suspendu au fléau tiendrait en respect un poids de 100 suspendu au crochet, il suffirait de soulever du bout du doigt le poids de 10 kilogrammes, pour faire aussitôt descendre celui de 100.

J'ai dit exactement, et le mot est plus juste que vous ne pensez ; dans la romaine en effet vous avez bien pu, par la plus légère poussée, déplacer le poids de 100 kilogrammes que celui de 10 tenait en équilibre ; mais si vous avez voulu le déplacer par exemple de 1 centimètre, vous vous souvenez qu'il a fallu que le petit poids fût déplacé de 10. Toujours l'histoire du cheval de charrette et du cheval de cabriolet, toujours le fameux principe : ce qu'on gagne en force, en le perd en vitesse.

Eh bien, le cheval de charrette et le cheval de cabriolet, vous allez..... ah non ! je ne peux pourtant pas pousser jusque-là la métaphore, et dire que vous allez les retrouver dans la barrique ; mais du moins vous allez retrouver dans la barrique le principe que ces chevaux nous ont aidés à comprendre.

Quand, en effet, vous appuyez le doigt sur la petite bonde, et la faites ainsi descendre, vous faites en même temps descendre le liquide que cette bonde touchait et dont elle vient prendre la place. Cette place, qu'il n'a plus, le liquide est bien obligé, puisqu'il ne peut se comprimer, de la chercher ailleurs.

Où ? — Précisément sous la grande bonde qu'il soulève. Oui, mais comme cette bonde a dix fois plus de surface que celle qui a délogé le liquide, ce liquide n'a besoin, pour se loger sous la grande bonde, que de la soulever d'une quantité égale au dixième de celle dont la petite bonde s'est abaissée.

La petite bonde joue le rôle du cheval de cabriolet. Elle ne porte que 10 kilogrammes ; mais elle s'est abaissée de 10 centimètres. La grosse bonde est le cheval de charrette ; elle porte 100 kilogrammes, mais elle n'a monté que de 1 centimètre.

Et maintenant, ma chère enfant, je lis dans vos yeux ce que vous pensez. Quelle singulière idée de percer dans la barrique ces deux trous, l'un grand, l'autre petit, et d'y faire monter et descendre ces chevilles ! En quoi cela peut-il être intéressant ?

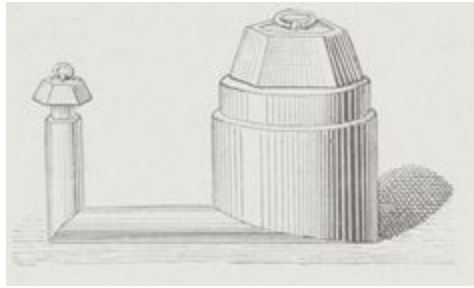
En quoi ?

Cet appareil grossier, primitif, inexécutable, renferme en germe l'une des plus merveilleuses machines que le génie humain ait imaginées. Cette barrique et ses deux bondes, c'est.... Mais il ne me plaît pas de vous dire tout de suite ce que c'est, et je veux punir vos dédains en vous en faisant attendre le nom jusqu'à la description de la machine.

Supposez que la grosse bonde soit surmontée d'un solide bâti en charpente qui ne laisse entre lui et la bonde qu'un étroit espace, et remplissez cet espace par exemple avec une plaque de plomb. Puis, sur la petite bonde, mettez un poids de 10 kilogrammes.

Ces 10 kilogrammes sur la petite en produiront 100 sur la grande ([fig. 22](#)) ; 100 qui tendront à faire monter la grande bonde, et, comme celle-ci est empêchée de monter par le plomb qu'elle touche, et qu'empêche lui-même de monter le solide bâti de charpente, il faudra que le plomb s'aplatisse.

Fig. 22.



Il s'aplatira absolument comme si, sur la plaque de plomb, vous aviez posé un poids de 100 kilogrammes, avec cette différence que, pour produire la pression de 100 kilogrammes, il vous a suffi d'exercer une pression de dix.

Immense avantage, car, au lieu de faire la surface de la grande bonde décuple de celle de la petite, si vous l'aviez faite centuple, c'est 1000 kilogrammes que vous auriez obtenus sur la grande en en posant 10 sur la petite. Vous en auriez obtenu 10 000 si la grande bonde eût été mille fois plus étendue que la petite, et ainsi de suite indéfiniment.

Indéfiniment, à condition pourtant que la barrique n'aurait pas éclaté, ce qui n'eût pas tardé, pour peu qu'il vous eût plu d'augmenter les pressions.

Aussi n'est-ce pas avec une barrique que, dans la pratique, on obtient les pressions dont-la barrique nous a servi à expliquer le principe.

Je vous promets de vous dire avec quoi. Mais comme il est utile, pour le bien comprendre, de savoir ce que c'est qu'une pompe, nous remettrons à plus tard ces explications. Pour vous faire prendre patience, que je vous dise au moins le nom de l'instrument. C'est la Presse hydraulique, et c'est encore Pascal qui en a eu le premier l'idée.

XV^e ENTRETIEN

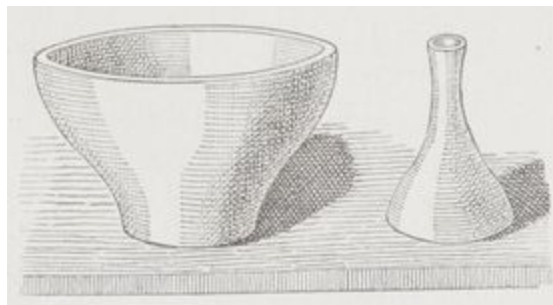
LE TONNEAU BRISÉ DE PASCAL

Vous avez dû, ma chère enfant, entendre raconter l'histoire de ce philosophe grec devant qui un autre philosophe niait le mouvement. Au lieu de se livrer à de grands raisonnements pour le convaincre, le premier se leva et se mit à marcher.

J'avais assurément oublié cette histoire quand je vous ai fait de si beaux raisonnements pour vous prouver qu'un liquide enfermé dans un vase en pressait, non seulement le fond, mais encore les parois latérales. Il suffirait en effet de percer un trou dans la paroi d'une barrique pleine, pour que le vin, en s'échappant avec force, vînt donner, de la pression qu'il exerçait sur cette paroi, le même genre de preuve que le philosophe grec donna jadis du mouvement.

Et voyez comme il est difficile de bien dire ce qu'on veut ! J'ai dit : « le vin, en s'échappant avec force »..... Or le mot avec force était de trop, et me voilà, pour l'avoir lâché imprudemment, obligé de vous dire quand les liquides pressent avec plus ou moins de force sur les parois des vases qui les contiennent, et de vous apprendre que la pression exercée sur le fond d'un vase dépend, non de la forme du vase, mais uniquement de la hauteur du liquide.

Fig. 23.



Uniquement. Ainsi voici deux vases : ils ne se ressemblent guère (fig. 23). L'un, à l'ouverture évasée, est celui qui figura sur la table du renard, le

jour où le fourbe invita la cigogne ; l'autre, au col effilé, servit à la cigogne quand elle voulut « rendre au renard la pareille ». Mais tous deux ont même hauteur, et leurs fonds sont exactement de même surface. Eh bien, quand, devenue plus grande, il vous sera permis d'entrer dans le laboratoire autour duquel nous nous promenons ensemble, vous y verrez des expériences qui vous prouveront que, remplis d'eau, ces deux vases si dissemblables « supportent sur leurs fonds exactement la même pression ».

Pour aujourd'hui, je vous demande de m'en croire sur parole.

En récompense, je vous raconterai une curieuse expérience de Pascal, qu'on appelle l'expérience du tonneau brisé, et qui vous rendra la confiance facile.

Pascal remplit d'eau un tonneau tout neuf et solidement construit. Puis, y ayant adapté un tuyau très long, mais très étroit, qui fermait hermétiquement le trou de la bonde, il versa peu à peu de l'eau dans ce tuyau.

Quand l'eau arriva à la hauteur d'environ 10 mètres, le tonneau creva.

Or pour faire monter à 10 mètres l'eau dans un tuyau large à peu près comme un verre de lampe, Pascal avait ajouté à peine 4 à 5 litres aux 2 ou 300 que contenait le tonneau. Et les 4 ou 5 litres avaient suffi pour le faire éclater.

C'était donc bien la hauteur, et la hauteur seule, qui était cause de la pression exercée sur le fond du tonneau, et j'avais bien raison de vous dire que son expérience vous aiderait à croire que la pression sur le fond d'un vase ne dépend que de la hauteur du liquide qui y est renfermé.

Il ne faudra pas oublier cette loi, si jamais, devenue maîtresse de maison, vous avez à faire construire un réservoir. On peut en effet donner à un réservoir la même capacité soit en le faisant bas et large, soit en le construisant étroit et haut. Mais il s'en faut que, dans les deux cas, il convienne de donner aux murs du réservoir la même épaisseur.

Vous comprenez bien pourquoi ? puisque la pression au bas du réservoir est, indépendamment de la quantité d'eau qu'il contient, d'autant plus grande que la hauteur de l'eau est elle-même plus grande, il faudra recommander à votre architecte de construire des murs d'autant plus épais que le réservoir sera plus élevé.

Nous retrouverons, dans le prochain entretien, de nouvelles applications de cette loi.

XVI^e ENTRETIEN

SOURCES ET JETS D'EAU

C'est auprès d'une source, ma chère enfant, que je veux aujourd'hui vous conduire : non, comme les poètes, pour vous en faire écouter le gazouillement ou respirer la fraîcheur, mais tout simplement et prosaïquement pour vous dire d'où elle vient et comment elle se forme.

Ne vous en doutez-vous pas ? Ne vous est-il jamais arrivé, courant dans une prairie en pente, de voir disparaître dans un trou de taupe l'eau d'une rigole d'irrigation, et de la voir sourdre quelques mètres plus bas ? Si vous avez jamais eu ce spectacle, vous savez, mon enfant, comment se forment les sources.

Tout le monde sait en effet que l'eau (et l'eau partage cette propriété avec tous les liquides) cherche toujours à se mettre de niveau. Qu'elle soit enfermée dans un verre ou dans une théière dont le bec, parti du fond de la théière, remonte le long de sa panse jusqu'à la hauteur du couvercle, ou bien encore qu'on la verse dans un tuyau recourbé en forme d'U, toujours, soit dans le verre, soit dans la théière et son bec, soit dans les deux branches de l'U, en un mot dans un seul vase ou dans des vases qui communiquent entre eux, et qu'on appelle en conséquence vases communicants, toujours la surface de l'eau est horizontale.

Cette propriété est utilisée dans des appareils que vous avez eu assurément l'occasion de voir. Dans les gares de chemin de fer, vous connaissez ces immenses réservoirs en tôle, où l'on conserve l'eau destinée à l'alimentation des machines. Comme la tôle n'est pas transparente, et comme il est cependant indispensable de savoir à chaque instant quelle quantité d'eau contient le réservoir, on applique le long de la paroi un tube en verre qui communique avec le bas du réservoir, et où le niveau de l'eau marque celui du réservoir lui-même. C'est de la même manière que le chauffeur d'une machine à vapeur se rend compte à chaque instant de la quantité d'eau que contient sa machine.

Eh bien, ce que fait l'eau dans la théière à bec et dans le tube indicateur de niveau du réservoir de la gare ou de la chaudière à vapeur, est

précisément ce qu'elle fait dans les canaux souterrains d'où proviennent les sources.

Quand vous avez, par exemple, vu l'eau de la rigole d'irrigation disparaître dans un trou de taupe et reparaître dans la prairie quelques mètres plus bas, c'est que le canal souterrain creusé par la taupe, après s'être enfoncé profondément dans la terre, s'est recourbé en forme d'U pour remonter à la surface.

L'eau, cherchant son niveau, est remontée avec lui, jusqu'à ce que, arrivant à la surface, elle y ait, dans le petit bassin où elle s'est étalée, formé ces bouillonnements qui caractérisent les sources.

Quelquefois, dans la nature, le phénomène a lieu exactement comme dans la prairie labourée par la taupe. On sait alors où a disparu le cours d'eau qu'on voit sourdre de nouveau.

Tel est le cas du Guadiana, qu'on voit disparaître dans un gouffre et reparaître 20 kilomètres plus loin, en un lieu qu'on appelle l'Œil du Guadiana.

Tel est encore celui de deux petites rivières de l'Angoumois : la Tardouère et la Bandia, qui se perdent tout à coup, et plus loin reparaissent par deux sources qu'on appelle le Dormant et le Bouillant, pour former la Touvre, affluent de la Charente.

D'autres fois la source apparaît sans qu'on puisse dire où l'eau qui jaillit de la terre s'y est perdue. Ce sont les neiges des glaciers qui ont pénétré dans le sol perméable, s'y sont infiltrées en suivant la pente naturelle du terrain, puis, trouvant un fond imperméable, de marne ou d'argile, par exemple, y forment un cours d'eau souterrain qui coule sur ce lit, jusqu'à ce qu'un nouveau banc de sable ou de gravier perméable permette à ce ruisseau de remonter à la surface et d'y apparaître en formant une source.

C'est toujours, vous le voyez, ma chère enfant, la même cause, la tendance qu'ont les liquides enfermés dans les vases communicants à se mettre en équilibre, qui produit les sources. Quand les sources se montrent au sommet d'une colline élevée, et loin de toute montagne dont les neiges éternelles puissent expliquer leur formation, elles sont souvent un objet d'étonnement pour les personnes qui ignorent la loi de l'équilibre des liquides dans les vases communicants.

Si vous rencontrez quelqu'une de ces personnes, vous lui expliquerez que l'eau, dont le jaillissement l'étonné, a rencontré, après s'être infiltrée dans le sol, un long filon d'argile imperméable, et qu'elle a bien été obligée de

suivre ce lit pendant des lieues, jusqu'à ce qu'elle ait trouvé un sol assez perméable pour le pénétrer et s'y frayer le passage qui l'a conduite au sommet de la colline qu'elle féconde en vertu des lois de l'équilibre des liquides.

Ces lois vont me permettre de remplir une promesse que je vous ai faite en vous parlant de la parabole liquide qui sort des bornes-fontaines de nos rues, tantôt mollement et sans s'écarter de la borne, tantôt avec une énergie éclaboussante qui rend dangereux le passage aux fillettes légèrement chaussées ou dont les robes élégantes sont tachées par l'eau.

Quand le réservoir d'où part l'eau est élevé, vous ai-je dit, l'impulsion est grande et l'eau s'échappe avec violence. Quand il est bas, au contraire, il coule lentement et sans force, et j'ai ajouté : Je vous expliquerai cela plus tard. Le moment est venu de m'exécuter.

Vous rappelez-vous que, cherchant ensemble avec quelle vitesse il faudrait lancer en l'air une pierre, pour la faire parvenir au cinquième étage, nous avons trouvé que cette vitesse était précisément égale à celle avec laquelle la pierre, abandonnée à elle-même au cinquième étage, arriverait dans la rue ?

Les postillons le savent bien, sans l'avoir appris autrement que par l'expérience ; aussi, quand leur voiture, descendant une côte, arrive vers le bas et s'apprête à remonter l'autre versant de la colline, ils la lancent à fond de train, et l'élan que les petits lutins de la pesanteur ont imprimé à la descente sert à vaincre la résistance qu'ils exercent à la montée. La voiture remonte pour ainsi dire toute seule.

La même chose, ou à peu près, arrive à l'eau que les ingénieurs emprisonnent dans les conduites de nos villes.

Ils l'accumulent dans un réservoir que nous supposerons, si vous voulez, à la hauteur d'un sixième étage, et l'eau qui, de cette hauteur, dégringole à travers les tuyaux en fonte jusque dans la rue, y arrive avec un élan capable de la faire remonter jusqu'au sixième étage, de même que la pierre tombant du sixième étage, arrive sur le trottoir avec la vitesse qui serait capable de l'envoyer précisément du trottoir à l'étage d'où elle est partie.

Parmi toutes ces conduites qui, du réservoir où l'eau est accumulée, l'amènent à tous les quartiers de la ville, prenez, si vous voulez, celle qui passe au centre du grand bassin des Tuileries, et, d'un coup de poinçon, percez-y un trou vertical : que va-t-il arriver ?

Que l'eau qui, du réservoir d'où elle est partie, a emporté l'élan nécessaire pour la faire monter au sixième étage, et dont chaque goutte supporte la charge de toutes les gouttes qui la relient au bassin, ne trouvant plus dans la paroi du tuyau que votre poinçon a enlevée la résistance qui l'empêchait d'obéir à cette pression, à cette charge, s'élancera par l'issue que vous lui avez ménagée, et que vous aurez le jet d'eau du grand bassin.

Il est bien beau, ce jet d'eau, et cependant il ne monte certainement pas à la hauteur du sixième étage.

Pourquoi ? Le réservoir est-il moins élevé que le sixième étage ? Non, car les appartements du cinquième et même du sixième ont l'eau dans les cuisines, et elle ne pourrait y monter si elle ne venait pas de la même hauteur.

Est-ce que ma loi de l'élan serait fausse ? — Assurément non, et je vous ai fait comprendre qu'elle ne pouvait pas l'être.

Pourquoi donc ?

Ma chère enfant, toutes les fois que l'homme s'attaque aux forces de la nature, il lui faut compter avec des résistances, des frottements, qui viennent déjouer ses raisonnements les mieux faits, ses calculs les plus soigneusement établis.

L'inertie exige que la boule de croquet une fois lancée par votre maillet roule indéfiniment ; mais les pierres du chemin l'arrêtent au bout de quelques mètres.

L'élasticité commande à la bille d'ivoire que vous laissez tomber sur une table en marbre de remonter à la hauteur d'où elle est partie et de commencer ainsi une série de bonds qui ne finiront qu'avec le monde et réaliseront le mouvement perpétuel ; mais la résistance de l'air et l'imparfaite élasticité de la bille l'obligent à ne s'élever qu'un peu moins haut que son point de départ, et le mouvement perpétuel finit en quelques minutes.

De même la naïade du grand bassin des Tuileries, qui s'élançait, orgueilleuse, à la conquête du sixième étage, se heurte au départ aux aspérités du tuyau, qui rognent les ailes à son impétuosité, s'essouffle, à peine sortie, à lutter contre la résistance de l'air qu'il lui faut fendre, rencontre, un peu plus haut, les gouttes d'eau montées avant elle et qui lui retombent sur la tête, et voilà comment ces obstacles multiples l'empêchent d'exécuter l'ascension qu'on avait le droit d'attendre de son élan ; voilà,

pour quitter la métaphore, pourquoi un jet d'eau ne monte jamais à la hauteur théorique que la mécanique calcule.

Ces résistances, au surplus, il ne faut pas en médire ; car si, de temps en temps, elles nous contrarient, elles nous sont souvent aussi d'utiles auxiliaires.

Je vous ai dit déjà que sans les rugosités qui arrêtent les semelles de nos chaussures, nous serions dans l'impossibilité de marcher. Sans être aussi indispensables, les frottements que l'eau rencontre dans les tuyaux, et que la main de l'homme peut accroître presque à volonté, ne nous en sont pas moins fort utiles.

Si l'eau sortait des bornes-fontaines avec la vitesse qu'elle a dans le jet d'eau des Tuileries, elle éclabousserait toute la rue et il serait impossible aux ménagères de s'en approcher pour remplir leur cruche. Les tours et détours qu'on la force à faire lui enlèvent cette impétuosité funeste, et permettent, suivant les usages auxquels on les destine, d'avoir sur la même conduite les prises modestes qui alimentent nos ménages, et les jets d'eau orgueilleux qui font le charme de nos promenades.

Mais pour les uns, comme pour les autres, il faut, vous ai-je dit, un réservoir supérieur et une canalisation.

Quelquefois c'est la nature qui fait les frais de l'un et de l'autre. Avez-vous entendu parler des puits artésiens ? C'est à eux que je fais allusion.

Les réservoirs, ce sont les glaciers d'où les eaux descendent ; la canalisation, c'est l'ensemble des terrains perméables à travers lesquels elles se rendent dans les lacs ou les fleuves souterrains où la main de l'homme va les chercher.

Je vous disais tout à l'heure : « Percez, d'un coup de poinçon, la conduite au centre du grand bassin des Tuileries, vous aurez le jet d'eau. » C'est à donner le coup de poinçon que s'emploient les ingénieurs qui creusent les puits artésiens. Mais quel poinçon !

Le puits de Grenelle, pour ne citer que celui-là, a 548 mètres de profondeur ! Ce n'est naturellement pas un homme qui peut descendre ainsi dans les entrailles de la terre par un trou de 40 centimètres de diamètre. Et pour atteindre cette profondeur il faut traverser, tantôt des sables qui s'éboulent et comblent le trou, tantôt des graviers ou des rochers qui brisent les outils ; il faut aller chercher, et les débris de toutes sortes, et les instruments qui se sont cassés. Vous voyez, ma chère enfant, que c'est un gros travail qui ne peut s'exécuter qu'à l'aide des machines, et qui demande

beaucoup de temps, beaucoup de patience, beaucoup de science et beaucoup d'argent. La construction du puits de Grenelle a duré neuf ans, et a coûté 400 000 francs.

Au surplus, ce n'est jamais qu'à force de génie, de temps et d'argent, que l'homme arrive à soumettre à son usage les forces de la nature. En deux minutes, je vous explique ici, en causant, la loi des vases communicants, et aussitôt votre imagination en tire le robinet utilitaire qui, au cinquième étage, alimente votre cuisine, et le jet d'eau luxueux qui embellit les places de nos capitales ; mais avant que le plombier place le robinet de votre cuisine ou celui du grand bassin des Tuileries, que de travaux ! que de calculs ! que de dépenses !

Il a fallu, tantôt prendre les eaux de la Seine ou de la Marne, et à l'aide de puissantes pompes, les élever à plus de 50 mètres au-dessus du niveau de la rivière, tantôt aller chercher à 100, 200 kilomètres, des rivières entières, la Somme-Soude, la Dhuis, la Vanne, dont le lit est à plus de 80 mètres au-dessus du niveau de la Seine ; les faire couler dans des aqueducs ici en maçonnerie et ciment, là en fonte. Il a fallu, quand on trouvait des rivières sur sa route, faire passer sur des ponts le canal d'alimentation, quand on rencontrait de profondes vallées, coucher le long des flancs des deux collines qui les enfermaient et au fond même de la cuvette de gigantesques tuyaux en fonte, de 1 mètre, 1^m,30 de diamètre, où l'eau, obéissant à la loi des vases communicants, remontait la côte après l'avoir descendue et reprenait son chemin vers les réservoirs de Paris.

Quels réservoirs ! Celui de Ménilmontant contient plus de 100 000 mètres cubes d'eau ; celui de Montsouris 300 000 ! Recouverts d'un vert gazon, ils gardent fraîche cette eau, qui vient de si loin, et qui demandera encore tant de difficiles et coûteux travaux pour vous être portée à domicile.

Si vous descendiez dans les égouts (oh ! ne faites pas la grimace mademoiselle, on s'y promène à l'aise en voiture ou en bateau), vous verriez suspendus aux voûtes d'énormes tuyaux de fonte, où roulent les torrents d'eau qui servent aux besoins ou aux plaisirs des petites filles avec qui vous jouez dans les squares.

Et tenez, en voici un escadron, groupées autour d'un appareil qu'elles semblent examiner avec une vive curiosité. Approchons-nous. Quelle intelligente petite machine ! elle arrose les gazons toute seule.

De chacun de ces tuyaux horizontaux ([fig. 24](#)), montés sur une colonne verticale, partent deux petits jets dirigés en sens inverse, et qui arrosent le

gazon, l'un à droite, l'autre à gauche de la colonne. Mais en même temps, la branche horizontale tourne toute seule autour de la colonne, si bien que les deux becs versent tout autour de cette colonne l'eau qui en sort, comme pourrait le faire un jardinier qui pivoterait sur lui-même, en tenant un arrosoir plein de chaque main.

Fig. 24.



Il y a là un phénomène singulier, et qui vaut bien la peine, n'est-il pas vrai, mon enfant, que nous nous arrêtions deux minutes pour en chercher l'explication.

Voici une barrique défoncée, que nous avons montée sur quatre roulettes de fauteuils ; vous entrez, votre amie Marthe et vous, dans la barrique, les pieds sur le sol, puisque la barrique est défoncée, et là, les mains fortement appuyées contre les parois, vous luttez, vous tournant le dos, pour voir qui fera avancer la barrique. Il est clair que si vous êtes de même force, la barrique ne bougera pas.

Mais voici que, tout à coup, pendant que chacune de vous exerce sur la paroi en face d'elle tout l'effort dont elle est capable, la douve contre laquelle s'appuie Marthe cède, se détache, et Marthe elle-même, passant par l'ouverture, se trouve mollement étendue sur le gazon. Que va-t-il arriver à la barrique ?

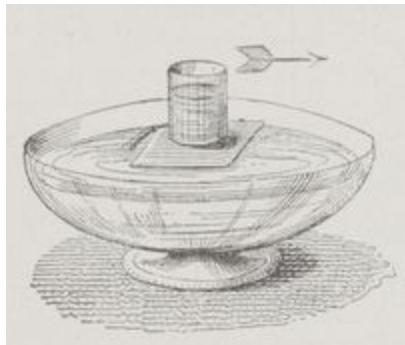
Évidemment, l'effort que vous exercez contre sa paroi n'étant plus contre-balancé par l'effort de Marthe, aura tout son effet, et fera avancer la

barrique sur ses roulettes, en sens contraire de celui dans lequel Marthe a été lancée quand son point d'appui lui a manqué.

Et maintenant, croyez-vous, ma chère enfant, que la barrique se soucie de savoir si l'effort exercé contre ses parois provient d'une force aveugle, ou du pari de deux gentilles fillettes ? Pensez-vous, par exemple, que si l'effort exercé sur les parois provenait, non de vos mains arc-boutées contre elles, mais, par exemple, de la pression d'un liquide enfermé dans la barrique préalablement repourvue de son fond, pensez-vous que tout ne se passerait pas comme tout à l'heure ?

Rien ne serait plus facile que d'organiser l'expérience, et vous pouvez aisément la faire. Au lieu d'une barrique, qui serait un peu encombrante, prenez un vase à fleurs dont le trou soit sur le côté. Posez-le sur une planchette formant radeau, et faites flotter ce radeau sur un bassin. Que va-t-il arriver ? L'eau, vous vous en souvenez, presse sur toutes les parois, et, si elle pressait également dans tous les sens, le vase resterait immobile. Mais il est un point, un seul, où la pression ne trouve pas à s'exercer. C'est le point où le vase est percé. Aussi la pression n'étant plus contre-balancée, le vase se met en mouvement en sens opposé à celui de l'écoulement de l'eau (fig. 25), et en entraînant avec lui le radeau qui le porte.

Fig. 25.



Et maintenant, voulez-vous, ma chère enfant, que nous revenions à notre appareil d'arrosage devant lequel je vois toujours vos compagnes arrêtées, la bouche béante ?

Mais que dis-je, revenir ? Nous ne nous en sommes pas éloignés, et l'appareil qui nous occupe ne diffère qu'en apparence du vase à fleurs que vous avez fait flotter.

Regardez-le, en effet. Les extrémités du tube horizontal sont percées comme l'était notre vase. A chaque extrémité, l'eau tend donc à pousser le

tube horizontal en sens inverse de celui de l'écoulement, et, comme les deux becs d'écoulement sont dirigés en sens contraire, les deux se viennent en aide et contribuent à la rotation du petit appareil.

Avant d'être utilisé comme instrument d'arrosage dans nos squares. l'appareil que je viens de vous décrire était, ma chère enfant, en usage dans les cabinets de physique, où il mettait en évidence la propriété des liquides sur laquelle il repose

On l'appelle le tourniquet hydraulique.

XVII^e ENTRETIEN

LE POIDS SPÉCIFIQUE

L'or pèse plus que l'argent, et le platine plus que l'or. Qui n'a entendu, dans sa vie, énoncer cette vérité ? Et cette impertinence, qui de nous, au collège, ne l'a répétée en latin de cuisine ? Plus que le plomb, la plume est légère ; plus que la plume, le vent ; plus que le vent (je vous ai prévenue que c'était une impertinence !), plus que le vent, la femme : plus que la femme..., rien ! Et cette plaisanterie d'almanach, ne vous l'a-t-on jamais faite ? Ne vous a-t-on jamais demandé ce qui est plus lourd : une livre en plomb ou une livre de plume ?

Par parenthèse, ma chère enfant, si jamais cette sottise question vous était adressée, répondez hardiment : « C'est une livre de plume. » Je vous expliquerai plus tard que rien n'est plus vrai, et vous vous donnerez le plaisir de voir la mine attrapée du mauvais plaisant, et de vous remémorer ces deux vers de La Fontaine :

Tel, comme dit Merlin, cuide enseigner autrui,
Qui souvent s'enseigne soi-même.

Mais il n'est question, pour le moment, d'enseigner personne ; nous voulons seulement nous rendre un compte exact de ce que signifient ces expressions : l'or pèse plus que le bois, ou le plomb plus que le liège.

Elles renferment évidemment un sous-entendu, ce que les grammairiens appellent une ellipse, car il n'entre dans la tête de personne qu'une pièce de vingt francs en or pèse plus, par exemple, qu'un madrier, ou une balle de fusil en plomb qu'une charretée de liège.

Quand on dit que l'or pèse plus que le bois, ou le plomb que le liège, on veut dire que si l'on taillait deux dés à jouer (deux cubes, comme disent les géomètres), l'un en plomb, l'autre en liège, exactement de mêmes

dimensions, ou bien si l'on tournait deux billes identiques, l'une en chêne, l'autre en or, le cube de plomb pèserait plus que le cube de liège, et la boule d'or que la boule de bois.

De même, si, prenant deux verres à boire identiques et de même poids, et les mettant sur les deux plateaux d'une balance, où ils se feraient équilibre, on remplissait l'un d'eau, l'autre- d'huile, le vase d'eau emporterait le vase d'huile.

Le sous-entendu, l'ellipse grammaticale, dans cette phrase : le plomb pèse plus que le liège, est donc celle-ci : sous le même volume.

Pourquoi une substance pèse-t-elle, sous le même volume, plus qu'une autre ? Je vous l'ai dit au commencement de ces entretiens : parce que la matière y est plus serrée plus dense ; parce que les molécules y sont plus rapprochées, les pores moins grands, parce que, d'un seul mot, la densité y est plus grande.

Et cette propriété des corps de peser plus ou de peser moins sous le même volume, est tellement caractéristique, qu'elle peut souvent servir à reconnaître l'espèce de corps qu'on vous présente.

Supposez par exemple que, vous bandant les yeux et couvrant vos mains de gants épais, pour vous empêcher de reconnaître au toucher la nature des deux substances, on vous mette dans les deux mains deux boules de même grosseur, de même volume, en vous prévenant que l'une est en bois, l'autre en or, assurément la différence du poids des deux boules suffira pour vous en faire distinguer la nature, l'espèce.

C'est pour cela que les physiciens ont appelé poids spécifique d'un corps (spécifique venant d'espèce), le poids..., le poids..., je suis bien tenté, ma chère enfant, de vous demander, comme Sganarelle : « Savez-vous le latin ? » — et, comme j'espère que vous répondrez : — « En aucune façon », — de continuer ma théorie des poids spécifiques par : *Capricias arcituram catalamus.....* Car je commence à terriblement m'embrouiller dans mes explications.

Et pourtant non : maintenant que j'ai commencé, je suis engagé d'honneur à finir. Où en étais-je ? Je disais que le poids spécifique.... Mais il vaut mieux reprendre la chose d'un peu plus haut.

Avant la Révolution... vous allez me dire : « Avocat, passons au déluge ! » Avant donc la Révolution, chaque province, chaque bailliage, chaque sénéchaussée avait son système de poids et mesures, et au milieu de cette diversité, il était impossible de se reconnaître.

La Révolution française non seulement mit l'uniformité dans les mesures de toute la France, mais encore relia l'une à l'autre toutes les mesures, de manière que, connaissant l'une d'elles, on peut en conclure toutes les autres.

C'est ainsi que, pendant que le centimètre cube, c'est-à-dire un dé à jouer, un cube de un centimètre d'arête, était le volume sur lequel on mesurait tous les autres volumes, ou, comme on dit, l'unité de volume, le poids d'un centimètre cube d'eau distillée, c'est-à-dire le poids de l'eau qui remplirait une petite boîte cubique d'un centimètre de côté, servit, sous le nom gramme, de terme de comparaison ou d'unité de poids.

Votre maître de calcul vous a enseigné tout cela.

Et voyez comme cette invention était commode ! Chaque fois, en effet, que vous savez qu'un vase a une capacité de 5, 6, 10 centimètres cubes, vous pouvez être sûre d'avance que si vous le remplissiez d'eau et le mettiez sur la balance, l'eau contenue pèserait précisément 5, 6, 10 grammes.

D'eau, oui. Mais si, dans ce vase, au lieu de verser de l'eau, vous vous avisiez de couler du plomb, combien ce plomb pèserait-il ?

Si vous faisiez l'expérience successivement avec les trois vases de 5, 6, 10 centimètres cubes, vous trouveriez que, plein de plomb, le premier pèse 5 fois 11, ou 55 grammes ; le deuxième 6 fois 11, ou 66 grammes ; le troisième 10 fois 11, ou 110 grammes, c'est à-dire toujours 11 fois plus que l'eau.

Si vous aviez fait l'expérience avec du soufre, vous auriez trouvé que le premier vase en contenait 2 fois 5, le second 2 fois 6, le troisième 2 fois 10 grammes, c'est-à-dire toujours 2 fois plus que d'eau.

Et quand vous auriez répété cette expérience avec dix ou douze corps différents, vous vous diriez, ma chère enfant :

Puisque le poids de l'eau est toujours exprimé par autant de grammes qu'on a pesé de centimètres cubes, et, par exemple, puisque 1 centimètre cube pèse 1 gramme, nous dirons que le poids spécifique de l'eau est 1.

Puisque 1 centimètre cube de plomb pèse 11 grammes, nous dirons que le poids spécifique du plomb est 11.

Puisque le centimètre cube de soufre pèse 2 grammes, nous dirons que le poids spécifique du soufre est 2, et ainsi de suite.

En un mot, nous appellerons poids spécifique d'un corps, le poids du centimètre cube de ce corps.

Cette définition vous paraît-elle claire, ma chère enfant, ou lui préférez-vous *Capricias Arcituram Catalamus* ? J'en serais humilié, car j'ai fait de mon mieux. Mais j'espère que vous m'avez compris, et je l'espère si bien, que je vais essayer de pousser plus loin encore mes explications.

Il y a bon nombre d'années, voyageant avec quelques amis dans la presqu'île de Quiberon, au bord de la mer que les indigènes appellent la mer Sauvage, notre promenade nous conduisit auprès du célèbre *Dracontium* de Carnac.

On appelle ainsi les restes d'un étrange monument druidique, si l'on peut appliquer ce mot de monument aux énormes pierres levées qui, pendant l'espace de plusieurs kilomètres, dressent dans le ciel gris de la Bretagne leur sombre silhouette, témoins muets des siècles écoulés.

L'une de ces pierres était si énorme que les voyageurs, se demandant comment et avec quelles machines les druides avaient pu la transporter, et surtout la mettre debout sur ses bases, furent curieux d'en connaître approximativement le poids.

La cuber n'était pas difficile. Les cannes tinrent lieu de mètres, et nous ne tardâmes pas à estimer qu'elle avait à peu près 8 mètres de haut sur 5 de large et 6 de long : c'est-à-dire environ 240 mètres cubes en volume.

Mais nous n'étions guère plus avancés. Que nous servait en effet de connaître le volume de la pierre, si nous ne savions pas ce que pesait le granit dont elle était formée, si nous ne connaissions pas son poids spécifique ?

Nous résolûmes de trouver ce poids spécifique, et comme on prend toujours quelque chose, qualités ou défauts, des pays que l'on visite, et que les Bretons ne passent pas pour renoncer aisément à une résolution prise, nous nous mîmes à l'œuvre aussitôt.

Un fragment de la pierre fut enlevé d'un coup de bâton ferré, et nous l'emportâmes précieusement jusqu'au premier débit de tabac que nous rencontrâmes.

Vous ouvrez de grands yeux, et vous demandez ce qu'un bureau de tabac pouvait bien avoir à faire avec le poids spécifique cherché. Ce sont les oreilles qu'il faut ouvrir, car nous touchons au dénouement de l'histoire.

Ce n'était pas le marchand que nous voulions, c'était sa balance.

Nous y pesâmes le fragment de pierre, qui se trouva peser 11 grammes.

Puis, ayant rempli jusqu'au bord un verre d'eau, de manière qu'une goutte de plus ne pût y entrer, nous y laissâmes tomber tout doucement la

pierre, et ayant recueilli exactement l'eau que la pierre fit déborder, nous la pesâmes à son tour.

Vos yeux me disent : à quoi bon ? — Une minute encore de patience, et vous allez le comprendre.

L'eau débordée pesait 4 grammes.

Par conséquent la pierre avait, dans le verre, pris la place de 4 grammes d'eau.

Mais, si elle avait pris la place de 4 grammes d'eau, c'est qu'elle avait le même volume que les 4 grammes d'eau.

Et quel est le volume de 4 grammes d'eau ?

Nous l'avons vu : c'est 4 centimètres cubes.

Donc, 4 centimètres cubes de cette pierre pesaient 11 grammes.

1 centimètre cube de cette même pierre devait donc peser 4 fois moins, c'est-à-dire $2^{\text{gr}},75$.

Et maintenant le reste n'était plus qu'un calcul d'école primaire ; car si 1 centimètre cube pesait $2^{\text{gr}},75$, 240 mètres cubes, ou 240 millions de centimètres cubes, devaient peser 240 millions de fois plus, ou enfin 660 000 kilogrammes.

Voilà, ma chère enfant, comment, avec une balance et un verre d'eau, nous trouvâmes le poids spécifique, $2^{\text{gr}},75$, de la pierre, et comment, avec ce poids spécifique et le volume de la pierre, nous parvînmes à trouver son poids.

Pas bien exactement, il est vrai ; mais il importait peu de connaître ce poids au plus juste, et si je vous ai conté cette histoire, c'est que le procédé grossier dont nous nous servîmes, faute de mieux, pour trouver approximativement le poids spécifique de la pierre, renferme toutes les opérations par lesquelles on passe pour le trouver exactement.

Oui, toujours il faut trouver le nombre de centimètres cubes du corps sur lequel on opère, et pour cela lui faire déplacer une certaine quantité d'eau que l'on pèse ; car il est évident, d'une part, que le volume de l'eau déplacée est le même que le volume du corps, et, de l'autre, le volume de l'eau est toujours facile à trouver, puisqu'il suffit de la peser et de se souvenir que, si elle pèse 5, 6, 10 grammes, son volume est de 5, 6, 10 centimètres cubes.

Puis il faut peser le corps et comparer son poids à celui de l'eau qu'il a déplacée ; car si le poids du corps est deux, trois, quatre fois plus grand que

celui de l'eau qu'il a déplacée, c'est que son poids spécifique est deux, trois, quatre fois plus grand que celui de l'eau.

Si donc j'ai traité de grossier, ma chère enfant, le procédé dont nous nous servîmes chez le marchand de tabac, ce n'est pas que toutes les opérations n'en fussent théoriquement justes, c'est que ces opérations n'étaient susceptibles d'aucune précision.

Essayez vous-même de remplir jusqu'au bord un verre d'eau, puis, quand il sera plein, d'y laisser tomber une petite pierre et de peser l'eau que la pierre aura fait déborder : si vous recommencez l'expérience dix fois de suite, vous trouverez dix résultats différents.

Pourquoi ? C'est que l'eau, dans le verre, adhère plus ou moins aux parois ; que, lorsque vous croyez le verre plein, il est presque toujours possible d'y ajouter une certaine quantité d'eau, plus ou moins grande, selon que le verre est plus ou moins lavé, plus ou moins essuyé, et qu'il se forme au-dessus du verre une surface arrondie, bombée, qui dépasse le bord du verre.

Vérifiez-le vous-même, et vous comprendrez que nos opérations ne pouvaient qu'être très inexactes, puisque, quand nous mettions la pierre dans le verre, une partie de l'eau déplacée, au lieu de déborder dans le plateau de la balance, montait au-dessus du verre pour y former le petit dôme dont je vous parlais tout à l'heure.

Malheureusement, le marchand de tabac avait une de ces balances dont les plateaux sont soutenus par en bas. Ah ! s'ils eussent été suspendus par des ficelles, et si au-dessous de l'un des plateaux on eût pu accrocher la pierre.... Si vous êtes curieuse, ma chère enfant, de savoir à quoi nous eût servi de suspendre la pierre au plateau de la balance, je vous le dirai dans le prochain entretien.

XVIII^e ENTRETIEN

LE PRINCIPE D'ARCHIMEDE

L'un des plus grands génies, non seulement des temps anciens, mais encore de l'humanité, est cet Archimède, que vous ne connaissez probablement, ma chère enfant, que par deux aventures aussi improbables l'une que l'autre.

On raconte qu'étant au bain, et ayant trouvé la solution d'un problème qu'il cherchait depuis longtemps, il fut si heureux qu'il sortit de son bain et se mit à courir les rues, tout nu, en criant : Eurêka ! Je l'ai trouvé !

Je n'en crois pas un mot. Assurément, les sergents de ville étaient moins nombreux, il y a deux mille ans, à Syracuse, qu'ils ne le sont aujourd'hui à Paris, et le climat y était plus doux, mais cela n'empêche pas que si Archimède avait été pris de la véritable attaque de folie qu'on lui attribue, et dont tous les historiens ont, les uns après les autres, copié le récit, on l'aurait enfermé au plus vite, et il n'aurait pas dirigé, comme il le fit, les travaux de défense du siège de Syracuse attaquée par les Romains. Syracuse fut prise et Archimède périt de la main d'un soldat, 212 ans avant Jésus-Christ.

L'histoire de la mort de ce grand homme est une autre fable :

Syracuse, qu'il avait défendue trois ans, venait d'être enlevée d'assaut. Un soldat romain aperçut Archimède qui traçait sur le sable des figures de géométrie, et le tua sans le connaître.

Voilà ce qu'on raconte, et je ne crois pas plus à cette histoire qu'à celle d'Eurêka.

Eh non, le commandant en chef du génie de la place, comme nous dirions aujourd'hui, ne s'amusait pas à faire de la géométrie sur le sable à l'heure même où on lui prenait sa ville ! Cette histoire est tout ce qu'il y a de plus invraisemblable, et on ne peut même y appliquer le dicton : *Se non è vero, è ben trovato*.

Enfin, que ce soit de cette manière ou d'une autre, ce qu'il y a de sûr, c'est qu'Archimède est mort il y a, au moment où je vous parle, 2099 ans, et aussi, qu'il est immortel.

Il l'est, entre autres travaux, pour avoir découvert une admirable loi dont je veux vous entretenir aujourd'hui, et qu'on appelle le Principe d'Archimède.

Voici trois boules de même grosseur, chacune de 20 centimètres de rayon.

La première est en marbre. Elle pèse 85 kilogrammes.

La seconde, en bois de grenadier, pèse 40 kilos.

La troisième, en bois de sapin, en pèse 20.

Si vous tentiez de les soulever, vous réussiriez aussi peu avec l'une qu'avec l'autre.

Jetez-les dans l'eau et essayez de les soutenir de manière qu'elles ne touchent pas le fond.

La boule de marbre est encore trop lourde ; vous n'arrivez pas à la déplacer.

Celle de grenadier cède facilement à vos efforts, et tout en vous offrant une résistance sensible, il vous est cependant aisé de la maintenir entre deux eaux.

Quant à celle de sapin, elle n'a pas attendu que vous la saisissiez. Voyez, elle est remontée d'elle-même, et une partie émerge au-dessus de la surface de l'eau.

De cette expérience, nous ne pouvons encore rien conclure de bien précis, si ce n'est que les corps, plongés dans l'eau, semblent peser moins que hors de l'eau. Et, si je dis simplement semblent, c'est que la boule de marbre, que vous n'avez pas pu soulever dans l'eau plus que dans l'air, ne vous permet pas de tirer une conclusion plus péremptoire.

Mais, comme vous avez pris souvent des bains, soit dans des baignoires, soit à la rivière, soit à la mer, vous savez assurément aussi bien que moi et qu'Archimède, que l'eau soutient, supporte les corps qu'on y plonge, et qu'ils y paraissent peser moins que dans l'air.

On dirait qu'aussitôt qu'un corps entre dans l'eau, les lutins de la pesanteur sont combattus par d'autres petits lutins qui poussent le corps de bas en haut, comme s'ils voulaient le faire remonter ; qu'alors il y a combat entre les lutins de la pesanteur et les lutins aquatiques : les premiers s'efforçant de faire tomber le corps, les seconds de le faire remonter, et qu'entre eux la victoire est indécise, restant, tantôt aux lutins de la pesanteur, comme dans le cas de la boule de marbre et de celle de grenadier, tantôt au contraire aux lutins aquatiques, comme dans le cas de la boule de sapin.

Ces lutins, que vous n'avez jamais vus, ma chère enfant, se montrèrent à découvert à Archimède, le jour où il prenait son fameux bain, et c'est peut-être l'émotion du spectacle qu'ils lui donnèrent qui le troubla au point de lui faire courir tout nu les rues de Syracuse. S'il en est ainsi, je suis obligé de me rétracter et d'avouer que les historiens n'ont pas inventé leur fameux Eurêka.

Archimède était donc au bain, et rêvait, non, vous le pensez bien, de la pluie et du beau temps, mais de cette force étrange qui, dès qu'il laissait par exemple son bras mort, le faisait, malgré la pesanteur, remonter à la surface. A quoi peut bien, pensait-il, équivaloir cette force ?

Et, comme il se faisait cette question, voilà que, sans que la porte se fût ouverte, auprès de la baignoire apparut tout à coup un beau jeune homme blond, la tête ceinte d'une auréole lumineuse, qui lui souriait avec bienveillance.

Archimède reconnut Apollon, dieu des arts et du génie.

Sans dire un mot, le dieu se pencha sur la baignoire, et, de ses deux mains, il enveloppa, il enferma, il limita une boule d'eau, et alors, aux yeux surpris du savant, se déroula un singulier spectacle.

Sur cette boule d'eau, qui, pour tout autre qu'un œil éclairé d'un rayon du génie, ne différait en rien de l'eau qui l'entourait de toutes parts, le savant vit s'escrimer tous les lutins qui, les uns la tiraient vers le fond pour la faire tomber, les autres la poussaient vers la surface pour la faire monter ; mais la lutte était égale, et ni les lutins de la pesanteur, ni ceux de la poussée ne parvenaient à vaincre leurs adversaires. La boule restait en équilibre.

Quand Archimède eut suffisamment contemplé ce spectacle, Apollon (rien n'est impossible aux dieux) enleva la boule d'eau et remplit le vide ainsi laissé dans le liquide, par une boule de marbre si pareille à la boule d'eau, qu'elle en prit exactement la place.

La substitution fut faite avec tant de promptitude et d'adresse, que les lutins de la poussée ne s'en aperçurent pas et continuèrent à pousser la boule de marbre de bas en haut pour la faire remonter.

Mais, cette fois, ils avaient affaire à forte partie. Les lutins de la pesanteur de la boule de marbre étaient autrement forts que ceux de l'eau, et la poussée put bien retenir la boule de marbre, ralentir sa chute, mais non l'empêcher de tomber.

Archimède avait compris, et déjà il allait formuler la loi, quand Apollon, qui ne voulait rien lui laisser d'obscur, l'arrêta de la main, et, en même

temps, à la boule de marbre substitua une boule de sapin.

Ce fut cette fois aux lutins de la poussée de prendre leur revanche : non que leur force eût augmenté. Que leur importait de pousser une boule de sapin, ou une boule de marbre, ou une boule d'eau ? ils ne s'étaient même pas aperçus de la substitution !

Non ; c'était la force des lutins de la pesanteur qui avait diminué, car une boule de sapin pèse moins qu'une boule de marbre et même qu'une boule d'eau de même grosseur.

Aussi qu'arriva-t-il ? que la boule de sapin, plus poussée vers le haut que tirée vers le bas, se mit à monter.

Alors Apollon, les boules, les lutins, tout disparut, et Archimède, resté seul dans sa baignoire, n'eut plus qu'à se rappeler ce qu'il venait de voir pour formuler la belle loi qui, depuis deux mille ans, porte le nom de Principe d'Archimède.

Se souvenant que la boule d'eau, la boule de marbre et la boule de sapin avaient été poussées de bas en haut, il formula cette loi : « Tout corps plongé dans un liquide en reçoit une poussée de bas en haut. » Et se souvenant que cette poussée n'avait pu ni vaincre le poids de la boule d'eau, ni être vaincue par lui, et par conséquent lui est égale, il ajouta :

« Et cette poussée est égale au poids du liquide déplacé. »

Et maintenant, avant de vous parler des nombreuses applications de cette loi, il faut que je tienne la promesse que je vous ai faite, dans notre dernier entretien, et que je vous dise comment une balance à plateaux suspendus nous eût permis, chez le marchand de tabac, de trouver exactement le poids de la pierre de Carnac.

Vous vous rappelez que nous avons détaché de cette pierre un fragment qui pesait 11 grammes, et que, ayant mesuré la pierre, nous lui avons trouvé un volume de 240 mètres cubes, ou, ce qui revient au même, 240 millions de centimètres cubes.

Si nous avons pu savoir combien de centimètres cubes avait le fragment, tout était dit, et c'est pour cela que, mettant la pierre dans un verre plein d'eau, nous avons pesé l'eau qu'elle avait fait déborder, qu'elle avait déplacée, nous souvenant que, lorsqu'il s'agit d'eau, le même nombre en mesure le poids en grammes, et le volume en centimètres cubes.

Mais le principe d'Archimède va nous permettre de trouver bien plus simplement et bien plus juste le volume de l'eau déplacée.

Suspendons en effet par un fil très fin le fragment de pierre au plateau de la balance, et, dans l'autre plateau, plaçons les 11 grammes qui mettront les plateaux en équilibre.

Si maintenant nous prenons un verre d'eau et le plaçons sous le plateau auquel est suspendue la pierre, de manière que celle-ci plonge dans l'eau, la poussée de l'eau, soulevant la pierre, la balance ne sera plus en équilibre. Le plateau auquel est suspendue la pierre montera.

Pour le faire redescendre que faudra-t-il ? Y mettre un poids égal à la poussée qui l'a soulevé.

Or cette poussée, vous vous en souvenez, c'est précisément le poids de l'eau déplacée par la pierre.

Le poids ajouté dans le plateau est donc celui qui nous aurait servi à peser l'eau que la pierre aurait fait déborder si le vase, étant plein d'eau, nous y avions ajouté la pierre. Ce sont les 4 grammes que nous avons mis dans le plateau du marchand de tabac de Carnac, et c'est pour cela que j'ai regretté que cette balance n'eût point ses plateaux suspendus au fléau par des ficelles.

Condition si nécessaire à la justesse des opérations par lesquelles on cherche le poids spécifique des corps, que les physiciens ont, tout exprès, des balances destinées à ces recherches et qu'ils appellent balances hydrostatiques.

Pour qu'il soit facile d'y suspendre les corps sur lesquels on opère, chaque plateau porte un crochet, et, pour qu'il soit plus aisé de faire descendre l'objet dans le verre plein d'eau placé sous le plateau, le fléau tout entier de la balance peut monter ou descendre, grâce à un petit engrenage qu'on manœuvre avec un bouton.

Mais je ne veux pas insister sur ces détails : vous les apprendrez quand vous entrerez dans le laboratoire autour duquel, pour aujourd'hui, nous nous bornons à nous promener.

XIX^e ENTRETEN

LES BATEAUX

Tel, comme dit Merlin, cuide enseigner autrui,
Qui souvent s'enseigne soi-même.

Je n'ai pas oublié, ma chère enfant, qu'en vous citant ces vers du bon La Fontaine, je vous ai promis de vous apprendre à réduire au silence les mauvais plaisants qui pourraient vous demander ce qui pèse le plus : une livre de plomb, ou une livre de plume.

C'est, vous ai-je dit, une livre de plume, et vous allez aujourd'hui le comprendre aisément.

Je commence par reconnaître que, pour oser le prétendre, il faut vouloir pousser jusqu'à la minutie l'exactitude ; il faut, comme on dit, « chercher des poils à un œuf ». Mais avec un railleur qui demande si une livre de plomb pèse plus ou moins qu'une livre de plume, c'est de bonne guerre, et nous pouvons nous le permettre sans scrupule.

Il faut donc réfléchir que ce mot, poids, a deux sens ; qu'il renferme une espèce de calembour d'idée, sinon de mot.

Le poids d'un corps, c'est, d'une manière absolue, la force qui tend à faire tomber ce corps vers la terre. Mais le poids d'un corps, c'est aussi le poids qu'il faut mettre dans l'un des plateaux de la balance, quand le corps est dans l'autre, pour que la balance soit en équilibre.

Or la balance qui sert à peser la plume, ou le plomb, n'est pas dans le vide, mais dans l'air : Dans l'air, qui soutient chacun des deux plateaux, qui exerce sur eux une poussée, et vous êtes maintenant trop ferrée sur le principe d'Archimède pour ne pas comprendre que cette poussée est d'autant plus forte que le volume du corps est plus grand. Quand Apollon a montré à Archimède les lutins de la poussée et ceux de la pesanteur, il les lui a montrés luttant dans l'eau, parce qu'à ce moment Archimède était au bain, mais il aurait pu faire l'expérience dans l'air, et il n'y aurait rien à changer qu'un mot : le mot « air » à la place du mot « eau ».

La poussée exercée par l'air sur les corps qui y sont plongés, est donc égale au poids de l'air que déplace le corps.

Quand donc vous mettez dans un plateau de balance une livre de plomb, et, dans l'autre, la quantité de plume qu'il faut pour établir l'équilibre, chacun de ces corps pèse sur le plateau non pas de tout son poids, mais de ce poids diminué du poids de l'air qu'il déplace.

Et comme, beaucoup plus grosse, la livre de plume déplace beaucoup plus d'air que la livre de plomb, et par conséquent est, beaucoup plus qu'elle, soutenue par la poussée, il faut bien en conclure que son vrai poids, s'il n'était pas diminué de la poussée, serait plus grand que le poids de la livre de plomb : en d'autres termes, que la livre de plume est attirée vers la terre par une force plus grande que celle qui attire la livre de plomb.

Voilà, ma chère enfant, l'explication que vous donnerez à votre mauvais plaisant ; et, s'il ne vous comprend pas encore, vous ajouterez que si deux personnes peuvent monter au premier étage exactement le même fardeau, il ne faut pas se hâter d'en conclure que ces deux personnes ont la même force ; car si l'une est vêtue d'un simple maillot comme en portent les gymnasiarques, pendant que l'autre porte un gros pardessus et des bottes à l'écuyère, celui qui est botté et emmitouflé est plus fort que son rival de tout le poids des harnais, qu'il doit vaincre en même temps que celui du fardeau dont il est chargé.

Et l'histoire de la livre de plomb et de la livre de plume est si vraie, qu'elle va nous faire comprendre comment les aéronautes semblent se rire des lois de la pesanteur, et par quel mystère, après avoir établi que tous les corps sont attirés vers la terre, et même sont également attirés, nous voyons les ballons prendre leur vol vers les nuages, en enlevant avec eux leur nacelle et les hardis voyageurs qui les montent.

Ces explications viendront plus tard. Aujourd'hui, nous terminerons cet entretien par quelques mots sur un sujet qui tient de près à celui des aérostats, sur les bateaux.

Voici un dé à jouer, un cube en bois de saule. Ses côtés ont un décimètre, et, par conséquent, son volume est de un décimètre cube. Et, comme le saule pèse deux fois moins que l'eau, et qu'un décimètre cube d'eau pèse un kilo, notre cube de saule pèse un demi-kilogramme.

Plaçons-le au fond de la baignoire d'Archimède, il va y être aussitôt saisi par deux forces : l'une, son poids, un demi-kilogramme, qui tend à le maintenir au fond : l'autre, la poussée, qui tend à le faire monter.

Et comme la poussée est égale aux poids de l'eau déplacée, c'est-à-dire à un kilogramme, c'est la poussée qui l'emportera, et le cube de saule va quitter le fond de la baignoire et monter jusqu'à..... Voyons, jusqu'où ? Car enfin, ce cube de bois ne va pas quitter l'eau et s'envoler comme les aérostats dont nous parlions tout à l'heure ?

La réponse est facile. Pour la faire, il suffit de suivre notre bille de saule dans sa marche ascendante :

Tant que le dé à jouer sera plongé dans l'eau, ni le poids, ni la poussée ne changera, puisqu'il déplacera toujours la même quantité d'eau.

Mais, dès qu'il arrivera à la surface, la partie élevée au-dessus de l'eau cessera de déplacer le liquide, et par conséquent la poussée diminuera.

Diminuera de plus en plus, à mesure qu'une plus grande portion de la masse sortira du liquide. Et, comme le poids, lui, ne change pas, il arrivera bientôt que la poussée sera égale au poids, et que le cube de bois restera en équilibre.

A ce moment le cube flottera, moitié dans l'eau, moitié hors de l'eau, et nous serons dans le cas des bateaux.

Un bateau n'est pas en effet autre chose qu'un corps flottant dont une partie est sous l'eau, l'autre au-dessus.

Quand on augmente la charge du bateau, c'est un renfort que pour la bataille engagée entre la pesanteur et la poussée, on apporte à la pesanteur. Aussi voit-on le bateau s'enfoncer.

Mais, s'enfonçant, il déplace une plus grande quantité d'eau, et par suite, à son tour, la poussée augmente.

L'équilibre s'établit de nouveau, jusqu'à ce qu'on embarque une nouvelle charge, ce qui fait enfoncer encore un peu plus le bateau, ou qu'on la débarque, ce qui le fait au contraire émerger un peu plus.

Désormais, vous ne serez pas surprise d'entendre parler de vaisseaux tout en fer, qui flottent néanmoins aussi bien que les vaisseaux de bois.

En vain, en effet, la carcasse du navire, revêtue des épaisses plaques qui le défendront des boulets ennemis, atteint des poids énormes ; pourvu que le volume de la partie plongée soit tel, que le poids de l'eau déplacée soit plus énorme encore, la poussée l'emporte sur le poids, et le navire flotte comme un simple bouchon de liège.

Et de même aussi, si l'on pouvait trouver une substance telle que le poids de l'air qu'elle déplace fût plus grand que son propre poids..... Ce qu'on ferait de cette substance, je vous le dirai dans le prochain entretien.

XX^e ENTRETIEN

LES AÉROSTATS

Eh bien ! que ferait-on de cette substance ?.....

Un voyageur qui aurait, le 4 juin 1783, traversé la petite ville d'Annonay, ce serait cru dans une grande cité.

Toute la population se pressait sur la place, grossie des campagnards accourus de plusieurs lieues à la ronde (et Dieu sait si les transports étaient faciles, en 1783, au pied des monts du Vivarais !)

Au centre de la place, Messieurs les députés aux états de la province, s'empressaient autour de deux hommes au visage rayonnant et au regard enthousiaste. Ceux-ci donnaient, à qui en demandait, des explications, en montrant un objet étrange que les spectateurs observaient, les citadins avec curiosité, les campagnards avec un respect mêlé d'une certaine crainte superstitieuse.

C'était un énorme globe en toile d'emballage doublée de papier. Retenu par des cordes auxquelles s'étaient attelés les portefaix de la ville, fiers de jouer un rôle dans la cérémonie, ce globe se gonflait peu à peu en se remplissant d'air échauffé par de la paille et de la laine, brûlées sur un réchaud.

A mesure que le globe, de plus en plus rempli, grossissait, il se dressait au vent comme s'il eût voulu s'envoler, et les portefaix qui tiraient sur les cordes appelaient comme renfort quelque voisin heureux de prêter son concours à une représentation à laquelle ne dédaignaient pas d'assister Messieurs. des états du Vivarais.

Mais, quelle apparence que ce gros globe de 12 mètres de diamètre, (on disait en ce temps-là 37 pieds) s'avisât de prendre son vol ?

C'est cependant ce qui arriva. A un signal donné, les cordes furent coupées, et une immense acclamation de la foule salua le départ de la lourde machine qui s'élança vers les nuages, pendant que les députés aux états serraient les mains des heureux inventeurs, des deux frères dont cette mémorable expérience envoyait les noms à l'immortalité :

C'étaient Etienne et Joseph Montgolfier, et le globe qui s'envolait, la montgolfière, était le premier aérostat.

Je vous entends. Vous voudriez savoir si ce premier aérostat emportait des aéronautes ?

Non, mon enfant, et je plaindrais l'imprudent qui s'aventurerait dans un aussi frêle esquif. Mais de ce que la première Montgolfière n'était pas propre à emporter des voyageurs dans le chemin périlleux où s'était brisée la témérité d'Icare, vous auriez tort de conclure que les frères Montgolfier ne méritent pas l'admiration que leur nom excita aussitôt dans toute l'Europe.

Tout le monde en effet parla de l'expérience d'Annonay ; le roi Louis XVI voulut qu'elle fut répétée devant lui ; Montgolfier vint à Versailles, et le 19 septembre de la même année une nouvelle ascension eut lieu avec le même succès devant le roi et la cour.

Un jour Franklin, qui se connaissait en invention, lui, l'inventeur du paratonnerre, assistait à l'ascension d'une montgolfière.

« A quoi, lui dit un de ces jaloux que toute nouvelle gloire offusque, à quoi peuvent bien servir les ballons ? »

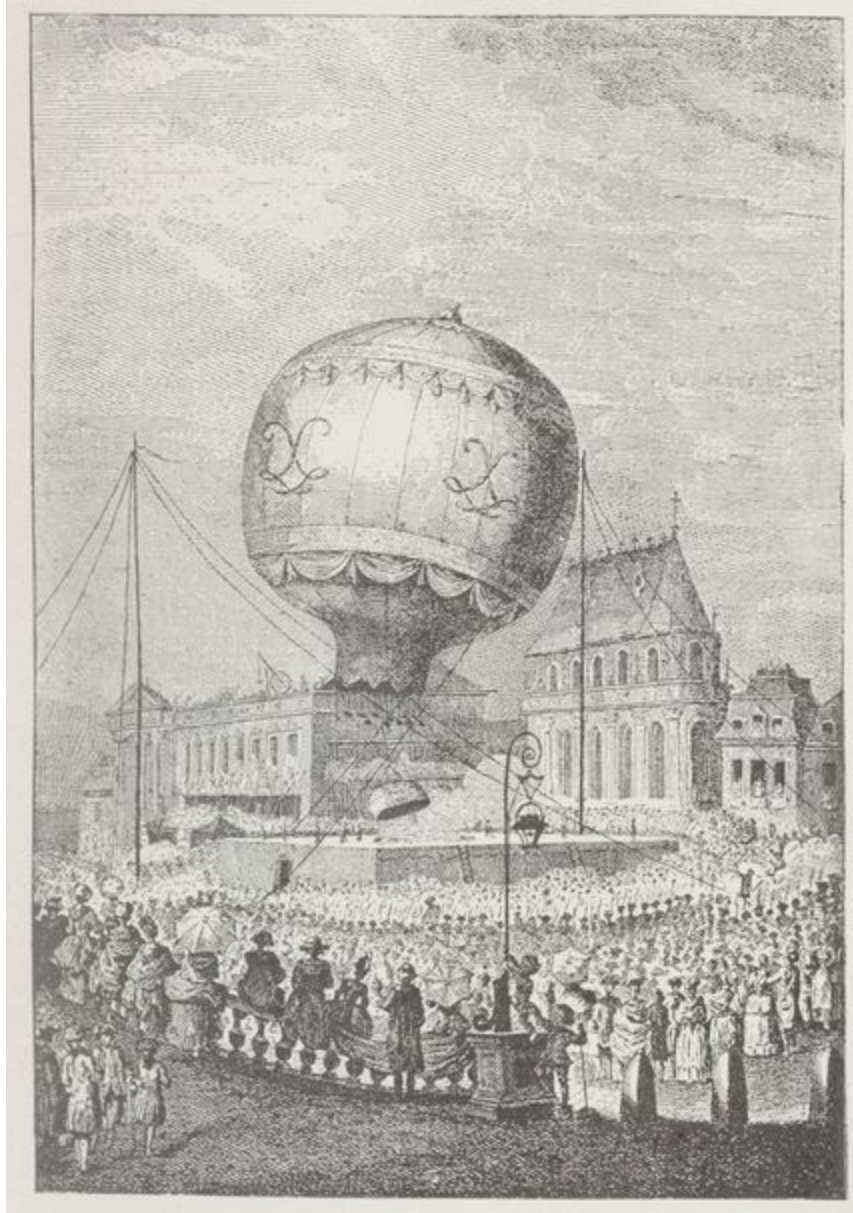
« Et à quoi, répondit Franklin, sert l'enfant qui vient de naître ? »

L'enfant venait de naître, en effet, et ses parents eux-mêmes, les frères Montgolfier, ne se rendaient pas un compte bien exact des raisons qui le faisaient mouvoir.

Pour vous, ma petite écolière, qui avez eu l'avantage de ne venir au monde qu'un siècle après les frères Montgolfier, vous n'éprouverez pas, j'en suis sûr, le moindre embarras à expliquer vous-même l'ascension de leur ballon.

Qu'était-ce en effet que ce globe de 12 mètres de diamètre ? Pas autre chose qu'un bateau, qui, au lieu de plonger dans la rivière, plongeait dans l'atmosphère ; qui, au lieu de déplacer son volume d'eau, déplaçait son volume d'air ; et, comme le principe d'Archimède n'est pas moins vrai pour les corps plongés dans l'air que pour ceux qui plongent dans l'eau, témoin la livre de plume qui pèse plus que la livre de plomb, ce bateau de toile et de papier recevait de l'air qui l'entourait une poussée de bas en haut qui tendait à l'enlever, comme la poussée fait monter à la surface le morceau de sapin qu'on a mis au fond de la baignoire.

LE 19 SEPTEMBRE DE LA MÊME ANNÉE UNE NOUVELLE ASCENSION
EUT LIEU AVEC LE MÊME SUCCÈS DEVANT LE ROI ET LA COUR.



Quelle poussée ? voulez-vous que nous le cherchions ensemble ?

La montgolfière d'Annonay déplaçait environ 900 mètres cubes d'air.

Or un mètre cube d'air pèse à peu près 1 kilo et un tiers (pas tout à fait).
Et si vous me demandez comment je le sais, je vous répondrai que le poids d'un mètre cube d'air n'est pas plus difficile à trouver que le poids d'un litre d'eau. On pèse une bouteille d'un litre pleine d'eau et on retranche du poids trouvé le poids du verre. De même on pèse un ballon plein d'air, puis

le même ballon dont on a ôté l'air au moyen d'une machine inventée tout exprès et que je vous ferai connaître plus tard.

On a ainsi trouvé qu'un mètre cube d'air pèse environ un kilo et un tiers. Par conséquent 900 mètres cubes pèsent (vous ferez bien ce petit calcul toute seule ?), pèsent 1200 kilos, et par conséquent enfin, c'est une poussée de 1200 kilos qui tendait à envoyer la montgolfière dans les nuages.

Imaginez que, tout au haut de la montgolfière, on eût attaché une forte corde, et que, faisant passer cette corde sur une poulie accrochée à quelque poteau élevé, on eût suspendu à l'extrémité libre un poids de 1200 kilos, et vous aurez une idée nette de l'effort que la poussée exerçait sur la montgolfière.

Douze cents kilos ! c'est une jolie force. Était-il cependant certain qu'elle suffirait pour enlever le ballon ?

La réponse est facile, et vous pouvez la faire vous-même.

Contre cette poussée, force verticale et dirigée de bas en haut, luttait son adversaire habituel, le poids, vertical comme la poussée, mais dirigé de haut au bas, et toute la question était celle-ci : La poussée l'emporterait-elle sur le poids ? — et dans ce cas le ballon monterait ; — ou serait-ce au contraire le poids qui l'emporterait sur la poussée ? — et alors l'expérience serait manquée, et la montgolfière ne quitterait pas sa place.

Question délicate ; car ce poids se compose de deux autres dont l'un ne pouvait pas être, au gré des inventeurs, indéfiniment diminué.

Si l'on vous demandait combien d'hommes un certain bateau peut transporter de l'autre côté de la rivière, vous commenceriez par vous informer combien pèse le bateau lui-même.

De même, ici, la poussée devait d'abord vaincre le poids de la lourde enveloppe en toile d'emballage et en papier qui, avec la colle, ne devait pas peser beaucoup moins de 100 kilos.

Et c'étaient déjà 100 kilos à déduire des 1200 qui travaillaient à pousser en haut la montgolfière.

Restait à 1100, et par conséquent tout se réduisait à ceci : gonfler la montgolfière avec un gaz assez léger pour que 900 mètres cubes de ce gaz ne pèsent pas 1100 kilos.

Et voilà pourquoi les frères Montgolfier, qui savaient ce que vous ne savez pas encore (mais je vous l'apprendrai), que l'air chaud pèse moins que l'air froid, allumèrent un réchaud sous leur ballon.

Et voilà pourquoi aussi, quand on coupa les cordes, le ballon s'élança vers les nuages aux acclamations des spectateurs stupéfaits.

Et combien ne l'auraient-ils pas été davantage encore, si les frères Montgolfier avaient eu l'idée de remplir, au lieu d'air chaud, leur montgolfière avec du gaz hydrogène !

L'hydrogène, en effet, pèse environ 14 fois moins que l'air, si bien qu'au lieu de 1200 kilos que pèsent 900 mètres cubes d'air, c'est 80 kilos à peine que pèsent les 900 mètres cubes d'hydrogène.

80 kilos qui, joints aux 100 de l'enveloppe, n'auraient même pas réuni 200 kilos à opposer aux 1200 de la poussée.

Elle en eût été à peine affaiblie, et c'est avec un excédent de plus de 1000 kilos de force que la montgolfière se serait, rapide comme la flèche, élancée vers le ciel.

Certes, alors, vous auriez pu à bon droit faire votre question de tout à l'heure : La montgolfière emporta-t-elle des aéronautes ?

Ce n'est assurément pas la force qui lui eût manqué pour cela, car, avec 1000 kilos de force, elle eût pu enlever au moins, une douzaine de voyageurs d'un poids ordinaire.

Mais, en pareille affaire, partir ne suffit pas. Il faut songer au retour, et ce retour, le peu d'imperméabilité de l'enveloppe en toile et en papier, qui allait se dégonfler à mesure que le gaz passerait à travers, les chances d'incendie, pendant une traversée où les matières les plus combustibles se trouveraient dans le voisinage du réchaud chargé d'entretenir la chaleur indispensable à l'ascension, c'étaient plus de circonstances qu'il n'en fallait pour le rendre bien problématique.

Si problématique, que la montgolfière d'Annonay, après être montée à cinq ou six cents mètres, se dégonfla tout à coup, et alla tomber lourdement et aussi vite qu'elle était montée.

Mais qu'importe ? La voie était ouverte. Le « nouveau-né allait grandir, et l'heure ne tarderait pas à sonner où les descendants d'Icare s'élanceraient comme lui dans l'espace, sans que le malheur de quelques-uns fît trembler le triple airain dont le poète latin revêt la poitrine des navigateurs.

Pour en arriver là, il a fallu de grands perfectionnements à la machine primitive. Il y a loin, par exemple, de la montgolfière d'Annonay au ballon de Henri Giffard, que tout Paris a vu, lors de l'Exposition de 1878, balancer au-dessus de la place du Carrousel sa majestueuse silhouette.

Sept enveloppes de taffetas gommé, de toile, de mousseline, de caoutchouc, de gutta-percha, que sais-je encore ? enfermaient le gaz hydrogène dans une prison si imperméable, qu'il suffît au constructeur de l'avoir rempli une fois pour toute la durée de l'Exposition. Sa panse gigantesque n'avait pas moins de 36 mètres de diamètre ; un géant qui s'en serait servi pour jouer à la balle aurait barré, avec, le boulevard des Italiens. Quand il se dressait debout au-dessus de sa nacelle, de six mètres de diamètre, son front atteignait cinquante-cinq mètres, trois fois la hauteur d'une maison de cinq étages.

Alors on entendait gémir l'énorme câble par lequel de puissantes machines le tenaient enchaîné à la terre. Et savez-vous combien il pesait ce câble ? Deux mille cinq cents kilos ! Mais aussi quel câble ! Sept centimètres de diamètre.

Et tous ces poids formidables, le ballon Giffard les enlevait comme une plume.

Quand il s'élançait, emportant ses cinquante passagers, on ne savait quel monstre fantastique couvrait tout à coup la terre de son ombre gigantesque.

Un poète du moyen âge eût pu croire que le dôme de quelque cathédrale prenait tout à coup son vol vers les cieux.

Mais si, au lieu d'un poète, Henri Giffard avait pu prendre par la main le vieil Archimède, réveillé de son sommeil de deux mille ans, pour lui faire les honneurs de sa nacelle, l'illustre vieillard aurait bien vite reconnu le combat des lutins de la pesanteur et des lutins de la poussée, et l'envolement dans les airs des 15 000 kilos qu'emportait le Léviathan ailé, ne l'aurait pas plus surpris que l'ascension du bloc de sapin que le divin Apollon mit au fond de sa baignoire le jour du fameux Eurêka.

Giffard lui eût dit : « Dans les ballons libres, que ne tient pas captifs, comme celui-ci, un câble de 600 mètres, les voyageurs, quand ils veulent descendre, tirent une ficelle qui ouvre cette soupape. Comprenez-vous, maître ?

— Sans doute, eût répondu Archimède. Car le ballon que dégonfle la perte du gaz, déplaçant moins d'air, la poussée diminue sans que le poids change sensiblement.

— Voyez-vous ces sacs de sable, aurait repris Giffard, c'est le lest des aéronautes. Quand ils veulent monter...

— Ils vident un sac de sable, aurait interrompu le divin vieillard, et diminuent le poids sans changer la poussée. Et c'est ainsi que, montant et

descendant alternativement, en jetant alternativement le lest et ouvrant la soupape, ils arrivent à gagner la terre sans secousse. Tout cela est facile à comprendre. Mais un mot sur un point que vous ne m'expliquez pas : Comment les aéronautes dirigent-ils leurs ballons dans l'espace ?

— Hélas ! maître, ils ne les dirigent pas ; bien des essais ont été tentés pour régler la marche de ces véhicules aériens, qui n'obéissent jusqu'ici qu'au caprice des vents.

Essais inutiles. Pour résoudre un pareil problème, il faudrait le génie d'Archimède, et malheureusement, maître, vous êtes mort depuis deux mille ans. »

Voilà, ma chère enfant, la conversation qu'auraient eue Giffard et Archimède, si celui-ci avait pu visiter l'Exposition de 1878, et, qui sait ? S'il obtient de Pluton la permission de venir à celle de 1889, peut-être le commandant Renard lui donnera-t-il la solution de ce fameux problème de la direction des ballons, et lui prouvera-t-il que la race des Montgolfier n'est pas éteinte en France ? Ce sera le cas alors de se rappeler la réponse de Franklin à celui qui lui demandait à quoi servent les ballons ? « Et à quoi sert l'enfant qui vient de naître ? »

XXI^e ENTRETEN

LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

Si vous aviez seulement quatre-vingts ans (et combien je vous félicite de ne pas les avoir !), vous auriez pu connaître, dans votre jeunesse, ma chère enfant, des vieillards qui vous auraient parlé des quatre éléments.

Les quatre éléments, c'étaient la terre, l'air, l'eau et le feu.

Éléments, vous m'entendez bien ; par ce mot on désignait les substances simples, indécomposables, et il faut convenir que ceux qui l'employaient n'avaient pas de chance, car ni la terre, ni l'eau, ni l'air, ni le feu, pas un seul des quatre éléments n'était un élément.

Je vous vois rire de leur ignorance, et vous avez tort, car si je vous demandais ce qui vous fait rire, vous seriez embarrassée. Embarrassée pourquoi ? parce que vous êtes une très jeune fillette qui ne pouvez savoir ce qu'on ne vous a pas encore appris. Eh bien, l'humanité est comme les fillettes, elle apprend peu à peu. Le moindre lycéen de seize ans en sait aujourd'hui plus long qu'Archimède, sans être pour cela Archimède. L'humanité s'est instruite depuis le grand géomètre. Et vous aussi, ma chère écolière, vous vous instruirez, et pour commencer, je vais vous apprendre ce que c'est que l'un des prétendus quatre éléments : Ce que c'est que l'air.

Ce que c'est que l'air, je m'aventure beaucoup : mais, sinon ce que c'est, du moins de quoi il se compose.

Loin d'être un élément, en effet, l'air est un assemblage, un mélange de plusieurs gaz dont deux sont... ou semblent être, eux, des éléments.

Mettez qu'ils le sont, jusqu'à ce qu'on soit parvenu à trouver à leur tour les éléments de ces éléments.

L'un s'appelle l'oxygène, et c'est lui qui nous fait vivre, nous, les animaux et les plantes.

Il nous ferait même vivre trop vite, et, s'il était seul dans l'atmosphère, il aurait vite fini de nous user en nous faisant, comme on dit, brûler la chandelle par les deux bouts, et brûler n'est pas une métaphore, car chaque fois que vous respirez, l'oxygène qui entre dans nos poumons n'y va pas pour autre chose que pour vous brûler le sang.

Pourquoi il vous le brûle, c'est, ma chère enfant, ce que vous trouverez trop clairement expliqué dans l'histoire d'une bouchée de pain, de M. Jean Macé, pour que je me risque à vous le redire après lui.

Si l'oxygène est porté à nous faire vivre trop vite, je n'en dirai pas autant de son compagnon, l'azote, le gaz qui, avec l'oxygène, tient la plus grande place dans l'air que nous respirons.

L'azote est en effet si loin de nous faire vivre trop énergiquement, qu'il ne nous ferait pas vivre du tout, s'il était seul, et qu'à le respirer sans l'oxygène, il ne nous faudrait pas plus de quelques secondes pour aller dans l'autre monde.

C'est même de cette propriété que l'azote a tiré son nom, qui signifie (en grec, bien entendu) impropre à la vie.

Cependant ces deux gaz, d'humeur si différente, font bon ménage ensemble, et leur mélange en de bonnes proportions fait un air qui ne nous brûle ni trop vite ni trop lentement, et grâce auquel celui qui le respire se maintient frais, gaillard et dispos.

Vous demandez ce que j'entends par ces mots : En bonne proportion, et je ne saurais mieux vous répondre qu'en vous faisant connaître les proportions mêmes dans lesquelles il a plu à la nature de mélanger les deux gaz.

Toutes les fois que vous renfermez dans une enceinte 100 litres d'air, il y en a 21 d'oxygène et 79 d'azote.

Il y a bien aussi un peu d'acide carbonique et de vapeur d'eau, mais si peu que ce n'est pas la peine d'en parler, et que vous pouvez considérer l'air simplement comme un mélange d'oxygène et d'azote.

Au surplus la composition de l'air regarde les chimistes, et non pas nous, et je ne sais comment le courant de la conversation m'a amené à vous en parler, car c'est de tout autre chose que je comptais vous entretenir.

Je crois vous avoir dit que ce mélange d'oxygène et d'azote, cet air, nous en avons environ 16 lieues sur la tête, et comme, d'autre part, nous avons constaté qu'un mètre cube d'air pèse environ un kilo et un tiers, il est évident que nous devons porter un joli poids sur la tête, et cependant nous la remuons librement et sans la moindre gêne. Il y a là un mystère qui me paraît valoir la peine que nous l'approfondissions.

Fig. 26.



Mais d'abord, essayons de vérifier si, en effet, l'air pèse sur les objets placés à la surface de la terre, et pour cela faisons quelques expériences simples ; vous savez, de celles que j'aime ; des expériences qui ne demandent ni frais, ni laboratoire, et que les fillettes de votre âge peuvent aisément répéter sans sortir de chez elles.

Tenez, voici une bouteille. — Je la remplis d'eau, — quand elle est pleine, je la bouche, — puis je la renverse, le bouchon en bas (fig. 26), et je la plonge ainsi dans une cuvette pleine d'eau, de manière que le goulot trempe dans l'eau de la cuvette.

Que va-t-il arriver ?

Évidemment rien, puisque la bouteille est bouchée.

Rien, en effet, mais attention, maintenant ! sans retirer le goulot de la cuvette, je débouche sous l'eau la bouteille. Qu'arrivera-t-il cette fois ?

Vous voilà hésitante. Il ne peut arriver que l'une de ces deux choses : ou la bouteille se videra, ou elle restera pleine. — Ah ! pardon, je me trompe, il pourrait s'en produire encore une troisième, c'est que la bouteille se vidât en partie, l'eau descendant dans la bouteille en en quittant le fond, et cependant ne descendant pas assez pour vider la bouteille.

Le mieux est d'essayer, et, comme on a toujours à sa disposition de l'eau, une bouteille, un bouchon et une cuvette, le mieux est que vous essayiez tout de suite et avant de continuer cet entretien.

Est-ce fait ?

— Oui !

— Alors vous avez constaté que la bouteille reste pleine.

Je pourrais tout de suite vous dire ce que je conclus de cette expérience ; mais j'aime mieux vous en citer quelques autres un peu moins faciles à

réaliser que la première, et dont, pour cette raison, j'espère que vous voudrez bien croire les résultats sur ma parole.

Au lieu de la bouteille dont nous venons de nous servir, et qui pouvait avoir environ 35 centimètres de haut, supposez que nous avons pris une bouteille dix fois plus haute, une belle dame-jeanne de trois mètres cinquante de haut, et que nous avons, avec cette dame-jeanne, répété l'expérience de tout à l'heure.

Eh bien ! le résultat aurait été exactement le même, et la dame-jeanne de trois mètres cinquante de haut, renversée le bouchon en bas, dans une cuvette, et, dans cette position, débouchée sous l'eau, serait restée pleine, absolument comme la modeste bouteille de trente-cinq centimètres.

Essayons avec une bouteille encore plus haute, et, par exemple, trois fois plus haute que la précédente, c'est-à-dire atteignant une longueur de dix mètres cinquante, et recommençons l'expérience.

Ah ! cette fois, le résultat n'est plus le même. La bouteille à la vérité ne se vide pas, mais elle ne reste pas non plus complètement pleine. L'eau y descend, et quand elle s'est arrêtée, si vous mesurez exactement la distance verticale entre la surface de l'eau dans la cuvette et la surface de l'eau dans la bouteille, vous trouverez que cette hauteur est de dix mètres trente-trois centimètres, — ni plus, ni moins.

Voilà les faits : tâchons d'en trouver ensemble l'explication :

Pour cela, reprenons notre première bouteille, celle de trente-cinq centimètres.

Quand nous la débouchons, l'eau qui y est contenue tend évidemment à tomber dans la cuvette, et, puisque elle n'y tombe pas, il faut bien qu'une cause l'en empêche.

Vous vous rappelez que les causes qui empêchent les mouvements du corps s'appellent, comme celles qui les produisent, des forces.

Quelle est donc la force qui empêche l'eau de tomber dans la cuvette ?

Vous ne la trouveriez jamais, si vous ne vous souveniez que les liquides ont la propriété de transmettre intégralement et dans tous les sens les pressions qu'ils reçoivent. Si vous enfoncez, par exemple, de haut en bas dans un vase un piston percé d'un trou, quoique vous exerciez sur le liquide une pression de haut en bas, le liquide ne s'en élèvera pas moins de bas en haut par le trou du piston, et, pour peu que vous enfoncez le piston vivement, l'eau, en vous jaillissant au visage, vous rappellera, mieux que je

ne saurais le faire, le principe d'égalité de transmission de pression dans tous les sens.

Eh mais, j'y songe, ce piston, que j'avais cru imaginer pour vous faciliter l'intelligence du phénomène que je vous explique, je ne l'ai pas du tout inventé ; il existe, et c'est précisément l'air qui presse sur la cuvette, qui est ce piston.

Et le trou, c'est le trou de la bouteille dans laquelle l'eau monte comme elle montait tout à l'heure dans le trou du piston.

Elle monte jusqu'où ? — Nous l'avons vu, jusqu'au fond de la bouteille, qui, par suite, reste pleine après que nous l'avons ouverte, comme lorsqu'elle était bouchée.

Cette explication vous paraît-elle suffisante ? Voyons, mon enfant, ne trouvez-vous aucune objection à y faire ?

Vous ne répondez pas ? — Vous devriez m'en faire une.

Comment se fait-il que la bouteille de trente-cinq centimètres soit restée pleine, et aussi celle de trois mètres cinquante, tandis que celle de dix mètres cinquante s'est en partie vidée, et que l'eau ne s'y est pas maintenue plus haut que dix mètres trente-trois centimètres ?

Revenons, ma chère enfant, à notre piston, et demandons-lui l'explication de cette apparente anomalie.

J'ai supposé que, pour soulever l'eau qui monte par le trou du piston, vous pressiez sur ce piston de toute votre force.

Eh bien, si votre force est suffisante pour faire monter l'eau par le trou du piston à deux mètres, il est clair que l'eau montera à deux mètres.

Si vous étiez plus forte, l'eau monterait plus haut, par exemple à cinq, à sept, à neuf mètres.

Et si vous étiez juste assez forte pour soutenir en l'air une colonne d'eau de dix mètres trente-trois centimètres, quelle colonne d'eau soutiendriez-vous ?

Vous venez de le dire vous-même ; évidemment, une colonne de dix mètres trente-trois centimètres. — Concluez donc vous-même :

Si, quand nous avons débouché sous l'eau la grande bouteille, elle s'est en partie vidée, de manière que le niveau de l'eau dans la bouteille ne soit resté qu'à dix mètres trente-trois centimètres au-dessus du niveau de l'eau de la cuvette, c'est que le poids de l'air sur la cuvette équivaut au poids d'une colonne d'eau de dix mètres trente-trois.

L'appareil constitue comme une sorte de balance. D'un côté, l'eau de la bouteille presse sur l'eau de la cuvette, qu'elle tend à déplacer pour descendre ; de l'autre, l'atmosphère presse sur l'eau de la cuvette, et, par son intermédiaire, sur celle de la bouteille pour la maintenir en l'air.

Et puisque l'eau de la bouteille ne monte ni ne descend, c'est que les deux plateaux de la balance se font équilibre ; c'est que les deux pressions sont égales ; c'est enfin que la pression atmosphérique équivaut au poids d'une colonne d'eau de dix mètres trente-trois centimètres de haut.

Nous nous étions demandé, au commencement de cet entretien, si l'air pesait sur les objets placés à la surface de la terre ; nous pouvons maintenant répondre oui, et, qui plus est, dire combien il pèse, et je finirais là cet entretien, si je ne tenais à lever un dernier doute qui peut rester dans votre esprit, bien que ce que nous avons dit dans nos entretiens précédents pût, à la rigueur, suffire à ne pas l'y laisser naître.

Voici, ma chère enfant, sur quoi il porte.

Nous avons fait nos expériences avec des bouteilles, soit véritables, quand nous avons pris notre première bouteille de trente-cinq centimètres de haut, soit imaginaires, quand nous l'avons remplacée par des dames-jeannes gigantesques de trois mètres cinquante et de dix mètres cinquante. La forme de la bouteille joue-t-elle un rôle dans le phénomène ? Si nous avons pris, au lieu de bouteilles, soit un tube cylindrique, soit un tube conique, soit un tuyau contourné en forme quelconque, est-ce toujours à dix mètres trente-trois au-dessus de la surface de la cuvette que le niveau de l'eau se serait maintenu dans le tube ?

Vous devez, ma chère enfant, répondre vous-même à cette question. Rappelez-vous que la pression exercée par un liquide sur le fond d'un vase est indépendante de la forme du vase ; rappelez-vous l'expérience du tonneau brisé de Pascal, et vous n'aurez besoin de personne pour affirmer que, quelle que soit la forme du tube que vous renversez sur l'eau, après l'avoir rempli et bouché, lorsque vous le déboucherez, l'eau y montera à 10 mètres 33 centimètres.

Et maintenant, voulez-vous que nous cherchions ensemble quelle pression supportent les objets placés à la surface de la terre ?

Voici, par exemple, une table carrée d'un mètre de côté, et dont la surface est, par conséquent, égale à un mètre carré. La pression de l'atmosphère étant équivalente au poids d'une colonne d'eau de 10 mètres de haut (nous

pouvons négliger les 33 centimètres), la table est pressée comme si elle supportait dix mètres cubes d'eau, c'est-à-dire dix mille kilogrammes.

Dix mille kilogrammes ! Je vous vois sourire, et je devine pourquoi.

Le calcul que je viens de faire avec vous est juste ; vous n'y trouvez rien à redire, et êtes, par suite, bien forcée d'admettre que le guéridon que voilà reçoit de l'atmosphère une pression de dix mille kilogrammes.

Et pourtant, en considérant les minces pieds tournés de ce guéridon, vous vous dites que, s'ils étaient forcés de porter dix mille kilogrammes.... Mais que dis-je ? Vous vous souvenez qu'il y a une heure, quand nous avons commencé cet entretien, vous l'avez pris, ce guéridon, à vous seule, et l'avez sans peine écarté de mon fauteuil. Faut-il croire que vous avez porté dix mille kilogrammes ?

Entre ces deux impossibilités, admettre qu'un calcul juste n'est pas juste, et admettre que vous transportez en vous jouant du poids de dix mille kilogrammes, vous êtes embarrassée de choisir, et vous vous en tirez en souriant.

Eh bien, je vais vous donner l'explication de ce mystère, et vous aider à concilier ces inconciliables.

Non, vous n'avez pas tout à l'heure transporté dix mille kilogrammes ; mais ce n'est pas parce qu'ils ne pesaient pas sur la table, c'est parce qu'ils pesaient également, ou, pour parler plus juste, parce qu'ils pressaient dessous, et que la pression de dessous balançait, détruisait celle de dessus.

Et pourquoi l'atmosphère presse-t-elle la paroi inférieure de la table, en même temps que sa paroi supérieure ? Il faudrait que je vous eusse bien mal expliqué les propriétés des fluides élastiques et le principe de la réaction égale à l'action, si j'étais obligé de vous le dire. Pressé par les couches d'air placées au-dessus, l'air qui nous entoure renvoie dans toutes les directions la pression qu'il en reçoit. Dessus, dessous, à droite, à gauche, en avant, en arrière, dans toutes les directions, chaque corps reçoit la même pression, et, toutes les pressions se compensant, le corps est aussi libre que s'il n'en recevait aucune.

Vous-même, si vous saviez quelle pression vous impose l'atmosphère ! Mais c'est un sujet dont je ne veux m'occuper avec vous que lorsque je vous aurai expliqué ce que c'est qu'un baromètre.

XXII^e ENTRETEN

LE BAROMÈTRE

Un baromètre ! Je parie que vous croyez que c'est une aiguille qui se promène sur un cadran où l'on a écrit : Beau fixe. — Variable. — Pluie. — Tempête, etc. Ou peut-être pensez-vous que c'est un moine de carton qui ôte son capuchon quand il doit faire beau temps, et le remet quand la pluie menace ?

Et bien, pas du tout ! un baromètre c'est la grande bouteille de dix mètres cinquante que nous avons renversée sur une cuvette et débouchée après l'avoir préalablement remplie d'eau.

Vous n'en avez, dites-vous, jamais vu d'ainsi fait ? — Ma foi. ni moi non plus, et cependant ce n'en est pas moins un baromètre.

Il faut d'abord que je vous dise que le baromètre, dont le nom emprunté au grec, comme la plupart des mots de science, veut dire mesure de la pesanteur, est un instrument qui sert en effet à mesurer la pesanteur, ou mieux la pression de l'atmosphère.

Eh bien ! n'avons-nous pas dit que la bouteille renversée était comme une espèce de balance, où le poids de la colonne d'eau d'un côté, la pression atmosphérique de l'autre, se faisaient équilibre et que, par conséquent, le poids de cette colonne d'eau de dix mètres était lame-sure de la pression atmosphérique ?

Vous voyez donc bien que la bouteille renversée est un baromètre.

Si, par exemple, vous me dites que c'est un baromètre incommode, je suis prêt à vous l'accorder, et c'est justement pour cela que vous n'en avez jamais vu de tel, ni moi non plus. Mais vous allez voir qu'il est très facile, sur le même principe, de construire des baromètres parfaitement commodes et qu'on les a construits en effet.

N'abandonnons pas encore l'idée de nos balances, et supposez que sur une vraie balance à plateaux, un épicier veut peser pour un client un kilo de café. Mais cet épicier, qui est un original, au lieu d'avoir, comme ses confrères, des poids en fonte, a fait faire les siens en bois de peuplier.

Vous n'y voyez pas grand inconvénient, ni moi non plus. Assurément il est possible et même facile de faire, en bois de peuplier, un poids d'un kilogramme.

Mais, les inconvénients, c'est notre original qui s'en apercevra.

Le peuplier est, en effet, un bois fort léger. Sa densité est à peine un peu plus de la moitié de celle de l'eau, en sorte que, pour qu'un bloc en bois de peuplier pesât 1 kilogramme, il faudrait faire ce bloc près de deux fois plus volumineux qu'un kilogramme en eau ; et comme la fonte pesant environ sept fois plus que l'eau, un kilo de fonte a un volume sept fois plus petit que celui d'un kilogramme d'eau, le kilogramme en peuplier serait près de deux fois, sept fois, ou environ treize fois et demie plus gros que le kilogramme en fonte dont tout le monde se sert.

Voyez-vous notre original obligé, chaque fois qu'il voudrait servir un client, de manier cette masse encombrante ? et ses balances, il faudrait qu'il les fît faire exprès !

C'est à peu près ce qui arriverait au météorologiste qui, pour baromètre, adopterait le tube de dix mètres cinquante que je vous ai décrit. Où le logerait-il ? Et, quand il voudrait le consulter, où trouverait-il une échelle de dix mètres, pour grimper jusqu'au sommet du tube ?

C'est la réflexion qu'ont faite les fabricants de baromètres, et aussitôt ils se sont dit :

Si, au lieu d'eau, nous pouvions trouver un liquide plus pesant que l'eau, il est clair que la hauteur de ce liquide qui ferait équilibre à la pression atmosphérique serait plus courte que celle de la colonne d'eau.

Si par exemple le liquide pesait deux fois, trois fois, dix fois plus que l'eau, la colonne de ce liquide serait deux fois, trois fois, dix fois moins haute. Si le liquide pesait treize fois et demie plus que l'eau, nous serions tout à fait dans le cas des épiciers ordinaires qui emploient des poids en fonte, en regard de l'original qui avait adopté des poids en bois de peuplier, et notre colonne serait treize fois et demie plus courte que la colonne d'eau. Or, treize fois et demie plus petit que dix mètres trente-trois, vous n'avez qu'à faire la division, vous trouverez que c'est 76 centimètres.

A la bonne heure ! 76 centimètres, voilà une longueur qui n'est pas encombrante ! On peut aisément trouver et manier un tube de 80 à 85 centimètres, le remplir de liquide, le boucher avec le doigt, le retourner dans une cuvette pleine du même liquide, enlever le doigt, enfin mesurer, quand le tube se vide en partie, la hauteur à laquelle il s'arrête.

Le raisonnement était bon, il ne restait plus qu'à chercher le liquide.

Il vous est peut-être arrivé de trouver entre le verre d'une glace et son cadre, ou bien sur la cheminée, au-dessous de la glace, une gouttelette ronde d'un liquide blanc, brillant comme de l'argent. Si vous voulez la prendre, elle vous échappe, roulant sans s'étaler, glissant entre vos doigts, et lançant des éclairs argentins chaque fois que, dans sa course, elle est frappée d'un rayon de lumière.

Cette gouttelette a glissé de derrière la glace, dont elle contribuait à former le tain. Demandez à votre papa ce que c'est que le tain d'une glace, ou, si vous n'êtes pas pressée, attendez, et je vous promets de vous le dire dans l'un de nos entretiens.

Cette gouttelette est une goutte d'un liquide que l'on a longtemps appelé le vif-argent, à cause de son éclat argentin et peut-être de la vivacité avec laquelle ses molécules se meuvent, et que les chimistes appellent aujourd'hui le mercure.

Sa densité est précisément treize fois et demie celle de l'eau. C'est le liquide que les constructeurs emploient à faire les baromètres.

Mais avant de vous dire comment ils s'y prennent, je dois répondre à une objection, que je vois prête à sortir de vos lèvres, et à laquelle je me suis exposé en ne m'expliquant pas suffisamment sur la pression atmosphérique.

Je vous ai dit en effet que la pression atmosphérique équivalait au poids d'une colonne d'eau de 10m,33 de hauteur, ou, ce qui revient au même, au poids d'une colonne de mercure de 0^m,76.

Et vous devez penser : Puisqu'on a, une fois pour toutes, mesuré la pression atmosphérique, pourquoi construire des instruments pour la mesurer de nouveau ? On a un jour mesuré la hauteur des tours de Notre-Dame, mais personne n'a songé à fabriquer des instruments destinés à mesurer les tours de Notre-Dame.

Votre objection, ma chère enfant, serait parfaitement fondée, si la pression atmosphérique restait toujours la même, comme la hauteur des tours de Notre-Dame.

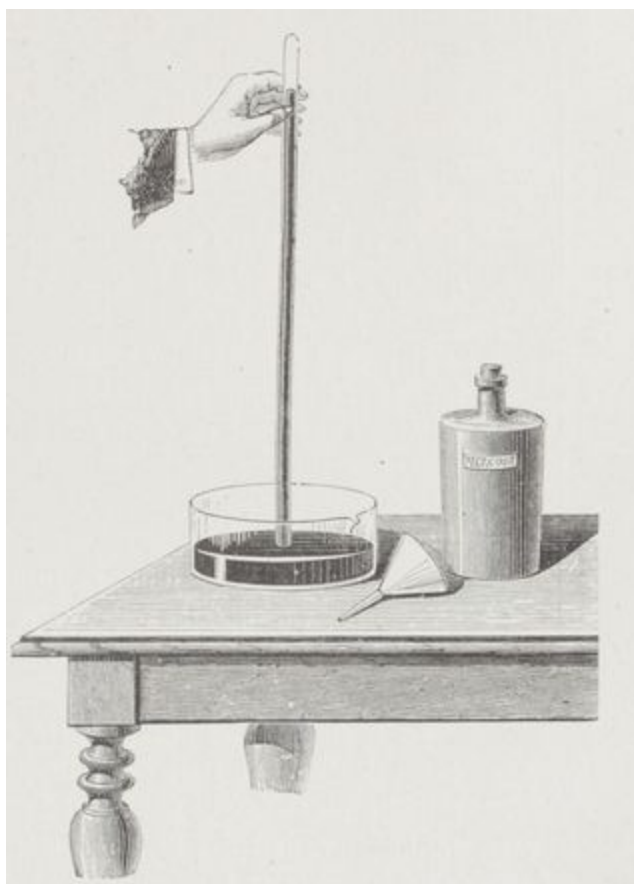
Mais il n'en est rien. Elle varie au contraire sans cesse, et il est de la plus grande importance de pouvoir en constater les variations.

Elle varie avec le temps qu'il fait, et quelquefois avec le temps qu'il va faire, c'est pour cela que le baromètre peut, jusqu'à un certain point, faire prévoir ce temps.

Elle varie aussi avec les lieux, et spécialement avec la hauteur des lieux.

Vous ne devez pas en être étonnée. Puisque en effet le poids de la colonne de mercure, que nous appellerons dorénavant la colonne barométrique, fait équilibre au poids de l'atmosphère, il est clair que si nous nous élevions au-dessus des seize lieues où s'étend l'atmosphère, cette atmosphère absente ne pourrait pas tenir en l'air une colonne de mercure. Il est clair de même que la hauteur de la colonne barométrique devra, à partir de la surface de la terre, diminuer à mesure qu'on transportera le baromètre dans des régions de plus en plus élevées de l'atmosphère.

Fig. 27.



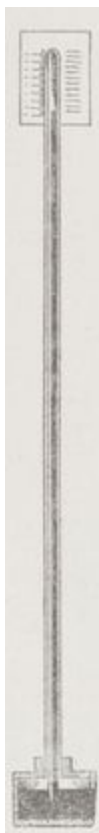
Nous reviendrons sur cette particularité, il suffit pour le moment que je vous aie montré l'utilité de construire des baromètres, et aussi, notez ceci, l'utilité, quand ils sont construits, de pouvoir les transporter.

Voyons maintenant comment on les fabrique.

Il y en a de plusieurs façons. En voici un tout simplement formé d'un tube de verre de 80 à 85 centimètres de haut et de 6 à 7 millimètres de diamètre intérieur, renversé dans une cuvette pleine de mercure (fig. 27).

C'est ce que vous pouvez concevoir de plus primitif. Appliqué sur une planchette graduée en centimètres, à partir du niveau du mercure, qui porte la division zéro (fig. 28), ce baromètre fait cependant un très bon service, mais à condition qu'il ne faille pas le déplacer. Vous comprenez en effet que le transport d'un semblable appareil serait impossible.... Et, puisque je vous vois faire, avec la tête, un signe qui veut dire que c'est évident, je m'interromps un moment pour vous montrer qu'il ne faut jamais se hâter de prononcer ce mot : évident, et que, par exemple, des deux raisons qui rendent intransportable le baromètre à cuvette, vous n'en voyez certainement qu'une, à savoir que le mercure de la cuvette se renverserait au premier pas.

Fig. 28.



Il y en a cependant une autre, et comme cette autre vous fera connaître une propriété nouvelle des fluides, il faut que je vous l'explique en deux mots.

Vous saurez donc que, lorsqu'un liquide est enfermé dans une fiole qui n'emprisonne avec lui aucun gaz, si on la renverse brusquement, de manière

à faire frapper le liquide contre le fond de la fiole, ce liquide, dont le choc n'est pas amorti par un matelas gazeux, le choque à la manière d'un corps solide et rend un son, comme celui que produirait un léger coup de marteau.

Et la comparaison est si juste, qu'il existe un petit instrument destiné à mettre cette propriété en évidence, et qu'on appelle précisément marteau d'eau.

Si vous voulez en construire un vous-même, rien n'est plus facile. Il n'y faut pas un laboratoire bien compliqué, et, en le construisant, vous aurez l'avantage de prendre une idée nette de la manière dont on construit un baromètre.

Prenez un petit tube en verre un peu épais. — Mettez-y un peu d'eau et chauffez-le en le tenant avec une pince (fig. 29), pour ne pas vous brûler, au-dessus d'une lampe à alcool. Vous verrez bientôt la vapeur sortir par l'orifice du tube, comme une légère fumée, et cette vapeur entraînera avec elle tout l'air contenu dans le tube.

Quand l'eau aura ainsi bouilli quelques instants, soufflez la lampe, et, pendant que la vapeur s'échappe encore, bouchez le tube bien hermétiquement, avec un bon bouchon préparé d'avance.

Votre marteau d'eau est fini ; quand l'eau sera refroidie, si, l'ayant toute ramenée sur le bouchon, vous renversez brusquement le tube, vous entendrez le bruit sec qu'elle fera en tombant sur le fond de la fiole, et qui lui a mérité son nom.

C'est, comme vous voyez, mon enfant, une espèce de joujou ; mais de joujou utile, au moins utile à vous expliquer ; car la petite manipulation qu'il vous a fallu faire pour le construire, est à peu de chose près, celle que font les opticiens quand ils fabriquent, soit un baromètre, soit un autre appareil dont je vous parlerai plus tard, mais que vous connaissez assurément de nom : le thermomètre.

Je ne vous la décrirai pas par le menu, car vous n'êtes pas destinée à construire des baromètres ni des thermomètres. Retenez-en seulement ceci que, toutes les fois qu'on veut chasser complètement l'air d'un tube qui contient un liquide quelconque, il faut faire bouillir le liquide dont la vapeur en sortant du tube, emporte l'air avec elle.

Et par suite, retenez-en ce moyen pratique de reconnaître si le baromètre que vous vend un opticien est bien fait, s'il a été réellement privé d'air.

Vous n'avez qu'à incliner légèrement le tube de manière à amener le mercure à en toucher le fond. Si vous n'entendez pas le petit coup sec du

mercure contre le fond, n'achetez pas le baromètre ; il y a de l'air entre le mercure et le fond du tube, et le baromètre ne vaut rien.

Fig. 29.



Mais j'ai dit qu'il faut incliner légèrement le tube, car si le mercure heurtait un peu trop violemment le fond du tube, le coup de marteau pourrait fort bien le casser.

Ce serait la preuve que le baromètre était bon, mais la belle avance ! vous ne l'auriez constaté qu'en le brisant.

Vous voyez, ma chère enfant, que le baromètre est un instrument délicat et qu'il ne faut manier qu'avec précaution. Le baromètre à cuvette même, il ne faut pas le manier du tout, et c'est pour cela qu'on en a construit d'autres dont je vous donnerai une idée dans le prochain entretien.

XXIII^e ENTRETIEN

LES CONFIDENCES D'UN VIEUX BAROMÈTRE

Fig. 30.



J'ai dans mon cabinet, ma chère enfant, un vieux baromètre qui a plus de cent ans, car il est né en 1768, et porte sur lui son extrait de naissance, et que je crois un peu sorcier, car il m'a raconté lui-même son histoire, ce que peu de baromètres ont, je crois, fait jusqu'à présent.

Mais avant de vous répéter cette histoire, je tiens à mettre sous vos yeux le portrait du narrateur, que j'ai fait à votre intention.

Le voici : il est fort ressemblant, ni flatté, ni enlaidi ([fig. 30](#)) ; j'ai, avec une impartiale exactitude, reproduit les inscriptions, la forme des caractères, les fleurs, qu'à leur dessin on pourrait prendre pour des choux, mais qui montrent par leur couleur que l'artiste a voulu en faire des roses ; enfin jusqu'à l'orthographe du mot Toricelly, avec son y inconnu des Italiens, avec ses deux points sur cet y. J'ai copié aussi l'échelle en pouces qui règne dans toute la partie du baromètre où l'on n'en a que faire, et s'interrompt juste au moment où elle serait utile, c'est-à-dire dans les parages autour desquels oscille le mercure, et où elle est remplacée par les indications de beau temps, beau fixe, tempête, etc... qui devaient être pour moi, m'a dit le baromètre, la source de nombreuses tribulations.

Mais, comme disaient les contemporains du vénérable instrument, n'anticipons pas.

Un jour que je m'étais arrêté par hasard devant le vieux baromètre, l'idée me vint de vérifier si la chambre barométrique était bien purgée d'air.

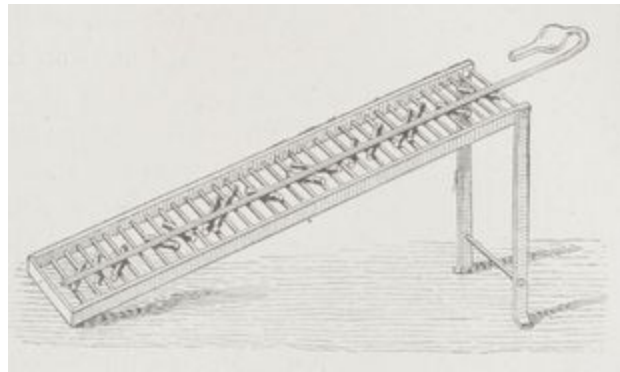
J'inclinai le tube avec précaution pour faire battre le fond, mais en vain : on n'entendait pas le moindre choc. Alors j'ôtai le tube de sur sa planchette, et, l'ayant incliné sur une grille longue préalablement recouverte de charbons allumés, le fond en bas, je me mis à souffler doucement les charbons pour échauffer peu à peu le mercure....

Tenez, voici aussi le portrait de la grille ([fig. 31](#)).

Au bout d'un instant, le tube éprouvait des soubresauts, et la vapeur de mercure commençait à se dégager, en emportant l'air attaché aux parois, et que je voyais glisser le long du tube sous forme de bulles d'une finesse extrême.

Quand l'opération fut terminée, le mercure, battant contre le fond du tube, faisait entendre le petit coup sec du marteau d'eau : le vieux tube était redevenu... ou devenu un vrai baromètre.

Fig. 31.



C'est alors que je m'aperçus qu'il était un peu sorcier, car, pendant que je le remettais sur sa planchette, il prit tout à coup la parole, et, à ma grande surprise, me parla ainsi en très bon français :

« Monsieur, dit-il, pour vous remercier du service que vous venez de me rendre, je veux vous conter mon histoire.

« Je suis né, en 1768, à Paris, sur le quai de la Ferraille, dans la boutique d'un opticien dont le grand-père avait beaucoup connu M. Torricelli.

« C'est lui, monsieur, c'est Torricelli, qui est l'inventeur des baromètres, et je vais vous dire comment cette idée lui vint. »

(Je le savais, mais comme j'ai remarqué souvent qu'on n'empêche pas facilement un vieillard de conter une histoire quand il en a envie, je pensai qu'il devait en être chez les baromètres comme chez les hommes, et je fis signe de la tête que j'écoutais de toutes mes oreilles.)

« Ce fut, continua-t-il, en 1643, que cette idée lui vint, l'année même de la bataille de Rocroy, et le grand-père de mon maître l'opticien répétait souvent : « Ma foi, sans vouloir offenser M. le Prince, « j'aimerais mieux avoir inventé le baromètre que gagné la bataille de « Rocroy. »

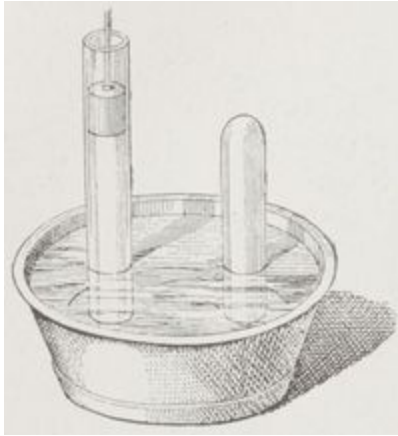
« Vers cette époque, les fontainiers de Florence, où habitait Torricelli, étaient célèbres. Ils passaient pour construire les pompes mieux que quiconque en Europe. Mais peut-être, ajouta mon vieux narrateur, ne savez-vous pas bien ce que c'est qu'une pompe. »

Cette fois encore je le laissai parler sans l'interrompre, et il reprit.

« Une pompe ? ma foi, monsieur, peu s'en faut que je ne vous en représente une en miniature. Figurez-vous un tuyau ouvert par en bas (fig. 32), comme les tubes barométriques, fermé par en haut, encore comme les tubes barométriques, mais avec cette différence que la fermeture d'en haut, au lieu d'être fixe, comme chez nous, est mobile. Elle est formée par un

piston, qui, tout en bouchant hermétiquement le tube, peut se mouvoir dans ce tube du haut en bas et de bas en haut.

Fig. 32.



« Les pompes étaient inventées bien longtemps avant les baromètres, et, en voyant l'eau suivre le piston et se tenir en l'air, exactement comme se tient en l'air le mercure dans mon tube, les hommes ne s'étaient pas mis en peine de chercher une explication à ce phénomène ; ou plutôt ils en donnaient une, mais si sotté que... excusez-moi, monsieur, je ne suis qu'un simple baromètre mais, je rougirais de m'en être jamais contenté. Ils disaient que l'eau suivait le piston pour ne pas laisser le vide entre sa surface et celle du piston, parce que la nature a horreur du vide.

« Or voilà qu'un beau jour les fontainiers de Florence, ayant à placer une pompe qui devait élever l'eau plus haut que 32 pieds, reconnurent avec étonnement que l'eau montait bien à 32 pieds, mais refusait de suivre le piston plus haut.

« Grande émotion parmi les prétendus savants de l'époque, qui, plutôt que de reconnaître qu'ils ne peuvent pas expliquer le phénomène, déclarent gravement que la nature n'a horreur du vide que jusqu'à 32 pieds. — C'est, ajouta mon baromètre, ce que vous appelez aujourd'hui 10 mètres 33 centimètres.

« C'est ici qu'entre en scène M. Torricelli.

« Il avait étudié la physique sous Galilée, et avait appris de lui que les gaz pèsent comme les solides et les liquides.

« Frappé de cette idée que c'est peut-être le poids de l'air qui soutient, malgré la pesanteur, l'eau sous le piston des pompes au-dessus du niveau du réservoir où on la puise, il prend un jour un tube de verre d'un mètre de

haut, fermé à un bout ; il le remplit de mercure ; bouche l'orifice avec son pouce ; le retourne ; le plonge dans une cuvette pleine de mercure, et ôte son pouce de l'orifice.

« Ah, monsieur, comme le cœur lui battait ! Mais voilà que le mercure descend d'abord, puis s'arrête à une certaine hauteur.

« Laquelle ? Torricelli prend sa toise : le mercure, qui pèse treize fois plus que l'eau, s'était arrêté treize fois moins haut. Plus de doute, c'était l'air qui le soutenait : le premier baromètre était construit.

« Comme vous le pensez bien, cette expérience fit grand bruit. Elle parvint aux oreilles de Pascal, qui la répéta aussitôt, non seulement sur du mercure, mais encore sur divers liquides et notamment sur du vin rouge ; et toujours, quel que fût le liquide employé, il trouva que la hauteur à laquelle s'élevait le liquide était d'autant moindre que la densité du liquide était plus forte et confirmait la loi de Torricelli.

« Mais Pascal ne se borna pas à cette constatation. Il en imagina une autre qui devait nous ouvrir, à nous autres baromètres, un magnifique champ d'activité en faisant de nous les instruments les plus propres à la mesure de la hauteur des montagnes. »

Ici, ma chère enfant, mon interlocuteur se lança dans une théorie qui me prouva qu'il était très au courant de son métier ; citant les formules d'algèbre ; faisant intervenir Laplace et Babinet. Mais je ne peux avec vous le suivre dans ses dissertations, et je suis forcé de l'abréger beaucoup.

L'expérience de Pascal, que l'on connaît sous le nom d'expérience du Puy-de-Dôme, je vous ai déjà préparée à la comprendre.

Je vous ai dit en effet que, puisque c'est le poids de l'atmosphère qui soutient la colonne mercurielle au-dessus du niveau de la cuvette, la hauteur de cette colonne doit diminuer à mesure que, s'élevant sur une montagne, la cuvette supporte le poids d'une quantité d'air de moins en moins considérable. Ainsi, dans les pyramides humaines dont les cirques vous donnent le spectacle, l'homme qui en porte cinq ou six debout sur les épaules les uns des autres, supporte évidemment un plus grand poids que le troisième ou le quatrième qui n'a au-dessus de lui que les clowns formant le sommet de la pyramide.

Pénétré de cette idée, Pascal donna mission à son beau-frère, Périer, d'aller observer au sommet du Puy-de-Dôme la hauteur de la colonne barométrique, en même temps que d'autres expérimentateurs l'observaient au pied de la montagne.

Le résultat de cette expérience fut celui qu'en attendait Pascal, et la théorie de Torricelli fut définitivement acquise à la science.

Et elle n'allait pas tarder à se perfectionner, car c'est avec le baromètre qu'on mesure aujourd'hui la hauteur des montagnes.

C'est grâce à lui, et uniquement grâce à lui, que les aéronautes savent s'ils s'élèvent ou s'abaissent. Dans cette route aérienne qu'aucune borne, aucun repère ne jalonne, où aucune secousse même n'avertit le voyageur du mouvement de son véhicule, il a toujours l'œil fixé sur son baromètre. Si la colonne baisse, c'est que le ballon monte ; si elle s'élève, c'est qu'il descend.

Mais il y a mieux, et l'on a construit des tables qui lui permettent de dire, non seulement s'il monte ou s'il descend, mais encore de combien.

Ces tables, ma chère enfant, ou plutôt ces formules, je ne peux pas vous les expliquer ici. Mais vous pouvez retenir cette règle pratique approximative, (en retenant bien en même temps qu'elle n'est qu'approximative). Jusqu'à une hauteur de 1000 à 1200 mètres au-dessus du niveau de la mer, le baromètre baisse environ de 8 à 9 millimètres pour chaque 100 mètres dont on s'élève.

Ce n'est pas là, je le répète, un renseignement bien exact, et il ne saurait suffire pour vous autoriser à écrire sur une carte la cote d'un sommet. Mais il vous suffirait largement si, faisant une ascension de pure curiosité, il vous prenait fantaisie de savoir à quelle hauteur vous êtes montée, car là, une erreur de 15 à 20 mètres ne saurait évidemment avoir aucune importance.

Par exemple, cette curiosité, ce n'est pas, ma chère enfant, avec un tube de Torricelli que vous pourriez la satisfaire. Vous voyez-vous défendant la cuvette d'une main pour qu'elle ne se renverse pas, de l'autre le tube pour que le choc du marteau d'eau ne le brise pas. Avec quoi vous accrocheriez-vous aux fougères pour escalader la montagne ?

Mon vieux baromètre de 1768 ne serait pas beaucoup plus commode ; car si la forme de la cuvette, retournée en forme de siphon (on appelle pour cette raison ces appareils des baromètres à siphon), donne moins à craindre de la voir se renverser, si le bout étroit de la petite branche permet même d'y mettre un bouchon, il reste toujours le danger du marteau d'eau, et vous ne feriez pas vingt pas avec un semblable appareil sur l'épaule sans qu'il fût en mille morceaux.

On fait, ma chère enfant, pour les géographes, des baromètres complètement portatifs ; mais je ne vous les décrirai pas. Connaissant bien

le principe du baromètre, il ne vous faudrait pas manier plus d'un quart d'heure l'un de ces appareils pour en comprendre parfaitement l'usage, et si j'essayais de vous le décrire, je ne réussirais sans doute, avec beaucoup de temps..., qu'à vous ennuyer. Or j'ai promis de ne le faire que le moins possible.

D'ailleurs il est temps de fermer la longue parenthèse que j'ai ouverte au beau milieu du récit de mon vieux baromètre, et de rendre la parole à mon vénérable conteur.

Après qu'il se fut, non sans orgueil, étendu sur le grand rôle scientifique joué par le baromètre :

« Malheureusement, continua-t-il, la mode s'empara de nous, et tous les gens aisés voulurent avoir un baromètre, l'un dans son cabinet, l'autre dans sa salle à manger, l'autre même, oui, monsieur, — je parle du siècle dernier, — même dans son salon.

« Pour quoi faire ? Hélas ! monsieur, cette manie m'a valu, dans ma longue carrière, bien des humiliations.

« On avait remarqué que lorsqu'il souffle un vent chaud et humide, la colonne barométrique descendait. C'est bien naturel, puisque l'air chaud et humide est plus léger que l'air froid et sec.

« On avait remarqué aussi que quelquefois, — mettons souvent si vous voulez, — le vent chaud et humide amène la pluie, au bout d'un temps plus ou moins long.

« De là à dire : Toutes les fois que le baromètre baisse, il annonce la pluie, et toutes les fois qu'il monte, le beau temps, pour des hommes qui avaient si longtemps accepté pour bonne la raison de l'horreur du vide, il n'y avait qu'un pas.

« Il ne fut que trop vite franchi, et nous ne tardâmes pas à être considérés par les gens du monde comme uniquement chargés d'annoncer le temps qu'il devait faire.

« Encore si l'on s'en fût tenu là ! Mais point. C'était trop pénible pour les petites maîtresses, les gentilshommes ou les financiers de se souvenir de nos indications de la veille, pour reconnaître si nous montions ou nous descendions.

« On finit donc par exiger de nos constructeurs qu'au lieu de divisions en pouces et lignes qui marquaient jusque-là la hauteur du mercure, on écrivit sur nos planchettes l'indication du temps correspondant à la hauteur du

mercure. Voyez la mienne. Vous y lisez : Très sec, — Beau fixe, — Beau temps, — Variable, — Pluie, — Grande pluie et Tempête.

« Je suis né, je vous l'ai dit, sur le quai de la Ferraille, à environ 30 mètres au-dessus du niveau de la mer.

« Je fus acheté par un jeune cadet, notre voisin, et d'abord tout alla bien. L'indication « beau temps », par exemple, qui, à 30 mètres d'altitude, correspond en moyenne à la hauteur que vous appelez aujourd'hui 76 centimètres, avait été inscrite par mon constructeur vis-à-vis cette hauteur, et mon jeune cadet n'était pas trop mécontent de moi.

« Il se fâchait bien un peu quand il continuait à pleuvoir un ou deux jours après que j'étais monté à « beau temps », car il ne savait pas qu'il n'y avait pas de ma faute, et que, beau temps ou pluie, si l'air pesait 76 centimètres de mercure, j'étais bien forcé de marquer 76 centimètres. Mais un peu plus tôt, un peu plus tard, le beau temps finissait par arriver, et nous faisions la paix, mon maître et moi.

« Le destin voulut que le jeune cadet fût nommé officier, et envoyé tenir garnison à Mont-Louis, dans les Pyrénées.

« Il m'emporta avec lui, et ce que ce déplacement me valut d'humiliations, monsieur, vous l'allez apprendre.

« Mont-Louis est situé à 1590 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Du quai de la Ferraille, c'était donc une ascension d'environ 1550 mètres que je dus faire pour gagner mon nouveau domicile.

« Que pouvais-je faire, monsieur ? je descendis de plus de 5 pouces ; 14 centimètres ! et la première fois que, prêt à partir pour une promenade dans la montagne, mon officier, selon son habitude, vint me consulter, j'étais à plus de 3 pouces, à 10 centimètres au-dessous de « tempête ».

« Il recula épouvanté. Il renonça à sa promenade, et cependant le soleil ne cessa pas de briller, radieux, sur la montagne.

« Furieux, mon maître me traita de radoteur, oui, radoteur, monsieur, et cependant, demandez à Laplace, demandez à Babinet, pouvais-je faire autrement que je n'avais fait ? Était-ce ma faute si ma planchette marquait beau temps à une hauteur où il m'était interdit d'atteindre ? Mais mon maître ne voulut rien entendre. Je n'étais plus bon à rien ; il ne pouvait plus me garder, et il me vendit ou plutôt me donna à un marchand qui allait passer à Paris quelques mois, après quoi il devait partir pour Buenos-Ayres.

« A Paris tout alla bien ; je me retrouvais chez moi, et mes indications satisfirent mon nouveau propriétaire, qui n'en savait pas plus long que le

premier sur les causes de ce qu'il appelait mon caprice, mais qui riait sous cape de m'avoir eu à si bon marché.

« Hélas ! ma faveur ne devait pas être longue ! Nous arrivâmes à Buenos-Ayres, et comme, à cette époque, les baromètres n'y étaient pas répandus, j'eus, en arrivant, un vrai succès de curiosité. Tous les clients de mon maître venaient m'examiner, et il leur expliquait d'un air de poids que j'annonçais d'une manière infaillible le temps qu'il allait faire.

« Le temps était assez beau, mêlé de quelques brumes, parfois de légères ondées, et moi, me trouvant au bord de la mer, je marquais 75 centimètres, ou plutôt je marquais « variable », qui, sur ma planchette, correspond à 75 centimètres, et à ce moment, répondait très bien au temps qu'il faisait.

« — Vous voyez, disait mon propriétaire, je vous ai prévenus ; il ne se trompe jamais.

« Le temps resta ainsi incertain une semaine, pendant laquelle, la pression n'ayant pas changé, je persistai naturellement à marquer variable.

« A la fin de la semaine enfin, le vent fraîchit ; la pression atmosphérique augmenta, et je montai de plus de 1 centimètre, dépassant, sans m'y fixer, le point marqué « beau temps », pour m'arrêter définitivement à « beau fixe ».

« Le soir, mon maître, en entrant à son cercle : « Messieurs, dit-il, « je vous annonce du beau temps pour demain. » — « Vraiment ? « firent de toutes parts les gens du pays. » — « Oui, dit mon maître, « sans remarquer l'air narquois de ceux qui l'entouraient. Mon baromètre est monté à beau fixe. »

« Le lendemain, quand mon propriétaire ouvrit ses volets, un véritable déluge s'abattait sur la ville ; chaque rue était un torrent.

« Il faut que vous sachiez, monsieur, qu'à l'embouchure de la Plata, c'est le vent du sud-est qui amène la pluie. Or ce vent, qui arrive sans que rien l'arrête, des régions polaires, est très froid. Par suite, il est plus lourd et fait monter la pression. En sorte que, dans ce pays-là, c'est en montant que les baromètres annoncent la pluie, c'est en descendant qu'ils présagent le beau temps.

« Était-ce ma faute à moi, monsieur, si mon maître interprétait mal des indications que je lui donnais exactement et en serviteur fidèle ?

« Pourtant je fus une fois encore disgracié. Je ne vous raconterai pas (car j'en ai déjà dit bien long pour un baromètre) par quelle série de pérégrinations je suis arrivé à ce clou où vous m'avez trouvé, et où je dormais depuis plus de soixante ans. Mais j'ai très bien vu que vous m'avez

construit une échelle métrique ; vous venez de chasser l'air que tant de voyages avaient laissé pénétrer dans ma chambre ; en un mot, vous ne me demandez que ce que je suis chargé de donner, c'est-à-dire la pression atmosphérique ; c'est pour vous remercier que j'ai voulu vous raconter ma mélancolique histoire, et je vous promets que, les indications que vous attendez de moi, je vous les donnerai toujours exactes. »

Ainsi parla mon vieux baromètre, avec beaucoup de dignité et de bon sens.

Il a tenu parole. Je suis fort content de ses services. Il arrive bien quelquefois qu'il pleut après qu'il a monté, ou que le temps se met au beau quand la colonne mercurielle descend.

Mais je ne m'en prends pas au baromètre, qui fait très bien son métier de montreur de pression.

Quant à la morale à tirer de son histoire, je la réserve, ma chère enfant, pour le prochain entretien.

XXIV^e ENTRETIEN

LES EFFETS DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

Et cette morale, quelle est-elle ?

Cette morale ? c'est, ma chère enfant, que, lorsque le temps est couvert, il faut prendre son parapluie, même si le baromètre monte, ou bien, si on l'oublie, et si l'on fait gâter par une averse son beau chapeau neuf, ne s'en prendre qu'à son imprudence d'un malheur dont le baromètre est innocent.

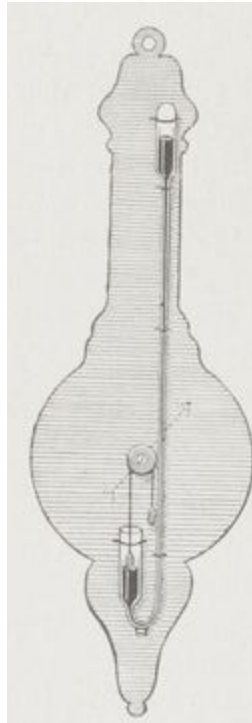
Et, si j'y insiste, c'est que, encore aujourd'hui, la plupart des gens du monde ignorent la véritable fonction du baromètre, qui est de mesurer la pression atmosphérique, et persistent, aujourd'hui tout comme au dernier siècle, à ne lui demander que ce qu'il sait mal, ou du moins médiocrement : prédire le beau ou le mauvais temps.

C'est pour eux que sont faits les baromètres à cadran (fig. 33), fort élégants, mais peu précis, qui servent d'ornement aux salles à manger. Je ne perdrai pas mon temps et le vôtre à les décrire par le menu. Faites-en retourner un, car le baromètre est derrière (fig. 34), et vous verrez vous-même qu'un mécanisme des plus simples fait, quand le mercure monte ou descend, tourner une poulie qui entraîne elle-même l'aiguille que vous voyez sur le cadran. En se promenant sur les divisions où le constructeur a écrit : beau temps, variable, tempête, etc., la pointe de l'aiguille indique si, derrière le cadran, le baromètre monte ou descend. Encore une fois, il vous suffira de voir la face de ce baromètre qui est habituellement appliquée au mur, pour comprendre le petit mécanisme qui relie le mercure à l'aiguille.

Fig. 33.



Fig. 34.



J'aurai plus de peine à vous faire comprendre le mécanisme des baromètres anéroïdes ; aussi ne fais-je que vous en donner le nom, car je ne veux pas vous fatiguer de détails inutiles.

L'important est de bien retenir le principe du baromètre, de savoir que le rôle essentiel du baromètre est de mesurer la pression exercée sur lui par l'atmosphère, et de vous souvenir que cette pression, qui varie à chaque instant, est en moyenne égale, au bord de la mer, au poids d'une colonne d'eau de 10 mètres de hauteur.

Il faut vous souvenir aussi que le baromètre n'accapare pas, par faveur spéciale, toute la pression atmosphérique ; que si, sur la cuvette ou sur la petite branche du baromètre pèse le poids de 10 mètres d'eau, à côté du baromètre, sur la table ou sur votre main, sur votre tête, sur votre corps tout entier, pèse aussi le poids de la même colonne d'eau. Vous souvenez-vous quel poids formidable nous avons trouvé sur cette table carrée de 1 mètre de côté ? Dix mille kilogrammes. Et, comme vous vous étonniez que la table ne fût pas écrasée, que dis-je ? Que cette pression s'y fit si peu sentir qu'elle ne vous empêchait pas même de transporter la table, que vous ai-je répondu ?

Que la pression s'exerçant aussi bien sous la table que par-dessus, à droite qu'à gauche, en avant qu'en arrière, la pression de dessus détruisait celle de dessous, celle de droite détruisait celle de gauche, celle d'avant détruisait celle d'arrière, et finalement la table était aussi libre que si elle n'avait pas été pressée du tout.

Ah ! si la table eût été creuse, et si, par un moyen quelconque, on était parvenu à retirer de sa cavité exactement tout l'air, vous auriez vu alors l'effet de la pression atmosphérique. Entre les dix mille kilos qui pressent dessus et les dix mille kilos qui pressent dessous, la table eût été vite défoncée (fig. 35).

En voulez-vous une preuve ? Voici une sorte de conserve sans fond, sur laquelle j'ai fixé hermétiquement avec de la ficelle et de la colle une peau de vessie tendue. Je l'applique sur une table ronde, faite exprès, et au centre de laquelle s'ouvre un tuyau par où l'on peut aspirer tout l'air. (Comment ? — Je vous le dirai plus tard.)

Fig. 35.



A mesure que l'air intérieur est aspiré et ne maintient plus la vessie contre la pression de l'air extérieur, celle-ci se creuse de plus en plus, puis, tout à coup, vous entendez comme l'explosion d'un coup de pistolet. C'est l'air extérieur qui a crevé la vessie (fig. 36) comme nous supposons tout à l'heure qu'il défonçait la table, et qui se précipite par le trou dans le manchon de verre.

Vous allez me dire : Voilà en effet de belles expériences, mais vous me les montrez sur le papier. Pour l'une, la table, vous supposez qu'elle est creuse, qu'on en retire l'air, toutes opérations impossibles. Pour l'autre, le creve-vessie, vous m'affirmez que les laboratoires possèdent cet appareil et je veux bien vous croire ; mais la fenêtre du laboratoire est fermée, et je ne peux pas voir les expériences qu'on y fait.

Fig. 36.



Vous avez raison, mon enfant, aussi ai-je gardé pour la fin quelques expériences qui démontrent tout aussi bien que celles du laboratoire la puissance de la pression atmosphérique, et qui ne demandent, pour être faites, ni cabinet de physique, ni appareils.

En voici d'abord une que vous avez eu l'occasion de faire souvent, bien que vous ne l'ayez peut-être jamais remarquée.

La carafe est pleine de vin. Vous voulez enlever le bouchon : impossible. Il tient au goulot, et vous vous empressez de dire : Il est collé. — Pas du tout, mademoiselle, le bouchon n'est pas collé au goulot ; mais voici ce qui est arrivé : La carafe était trop pleine. Pour y entrer, le bouchon a dû chasser une certaine quantité de liquide qui a glissé, quoique avec peine, entre lui et le goulot. Il touche donc exactement le liquide, et aucune pression ne peut balancer la pression atmosphérique qui s'exerce sur le bouchon. C'est cette pression qui vous empêche de l'enlever.

Toutefois, comme la fermeture n'est jamais rigoureusement hermétique, ébranlez un peu le bouchon ; vous ferez rentrer l'air : la pression deviendra, sous le bouchon, égale à ce qu'elle était au-dessous, et vous l'enlèverez aisément, sans croire désormais, je l'espère, que vous l'avez décollé.

Fig. 37.



Pas plus que le bouchon, n'est collée la feuille de papier que j'applique sur ce verre plein d'eau (fig. 37). Et cependant, voyez, je retourne le verre et, quand j'ôte ma main de sur le papier, l'eau ne tombe pas. C'est encore la pression atmosphérique qui la soutient contre la pesanteur.

Et cet œuf... Mais il faut que je reprenne d'un peu plus haut la préparation de cette opération culinaire.

Prenez une carafe à large goulot, et, en guise de bouchon, mettez dessus un œuf dur (fig. 38) préalablement dépouillé de sa coque. Cet œuf, en se moulant sur la carafe, va la boucher hermétiquement.

Otez maintenant l'air de la carafe. Oh ! ce n'est pas bien difficile, allez, et vous n'avez pas besoin de la machine d'Otto de Guéricke. Vous n'avez qu'à allumer dans la carafe un morceau de papier. Comme le papier ne peut brûler qu'aux dépens de l'oxygène de l'air..., et tenez, pendant que je vous expliquerais que l'oxygène de la carafe disparaît à mesure que le papier brûle, et que par suite la pression extérieure doit l'emporter sur la pression intérieure, elle l'a si bien emporté, en effet, que, sous l'effet de cette pression, l'œuf s'est aminci, s'est effilé, a glissé entre les parois du goulot, et le voilà tombé dans la carafe, que tout à l'heure il fermait hermétiquement.

Vous ne vous plaindrez pas cette fois que je vous cite des expériences de laboratoire, et vous n'aurez plus de doute sur la réalité de la pression atmosphérique.

Il ne me reste plus qu'à vous faire comprendre comment vous pouvez, sans être écrasée, supporter une pression de 15 000 kilos.

C'est à peu près de la même manière que la table, mais ce n'est qu'à peu près, aussi avez-vous droit à quelques explications nouvelles.

Fig. 38.



Il arrive en effet si souvent qu'un homme est écrasé par une voiture, dont le poids est bien loin d'atteindre 15 000 kilos, qu'il est bon que vous compreniez à fond ce phénomène de l'écrasement des corps, pour décider, en connaissance de cause, si le corps humain peut ou non être écrasé par la pression atmosphérique.

Les corps, vous vous en souvenez, sont, les uns compressibles, les autres incompressibles.

Les gaz sont éminemment compressibles, tandis que les solides le sont peu, et les liquides à peu près pas du tout.

Or, c'est de solides et de liquides que se compose surtout le corps humain.

Voyons donc en quoi consiste l'écrasement d'un corps solide.

Fig. 39.

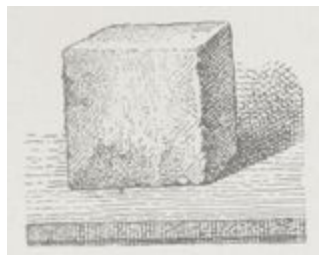
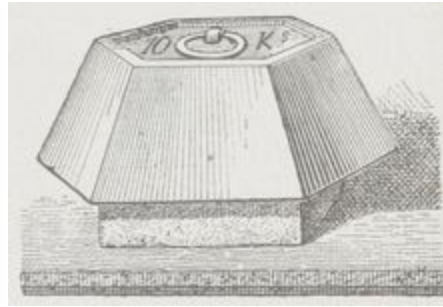
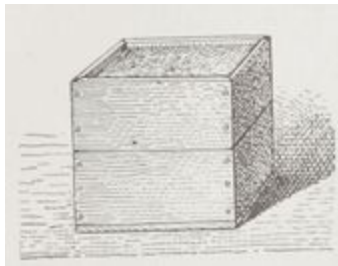


Fig. 40.



Voici un dé à jouer, un cube en argile plastique (fig. 39), en terre de potier. Je pose dessus un poids de 10 kilos (fig. 40). Le cube s'aplatit entre le poids et la table sur laquelle il était posé. Il n'a plus la forme d'un dé, mais celle d'une brique. Sa hauteur a diminué, mais sa longueur et sa largeur ont augmenté. Je dis alors que le poids a écrasé le cube d'argile. Si, au lieu d'un poids de 10 kilos, je l'avais chargé d'un poids de 100 kilos, je l'aurais réduit à l'épaisseur d'une feuille de papier ; mais en même temps il se serait étendu proportionnellement en longueur et en largeur.

Fig. 41.



Voici maintenant un dé à jouer absolument pareil au premier. Mais, avant de poser dessus mon poids de 10 kilos, je l'enferme dans une caisse solide de même forme et de même dimension (fig. 41) que lui et qu'il remplit exactement. Il est clair que la pression la plus considérable ne parviendra pas à l'aplatir, à l'écraser, puisqu'il est maintenu de tous côtés par les parois de la caisse.

Il ne pourrait être écrasé que si la caisse avait quelque part un trou par lequel le poids pourrait chasser la matière plastique (fig. 42). On le verrait alors se mouler, pour ainsi dire, dans l'ouverture, s'écouler par le trou, sous la forme d'un petit cylindre, en même temps que, dans la caisse, le poids l'écraserait de plus en plus. Entrez dans une fabrique de pâtes d'Italie, et

vous verrez réalisé cet appareil, dans lequel la forme du trou, en lettre, en étoile, etc., détermine celle de la pâte que vous mangez en potage.

Fig. 42.



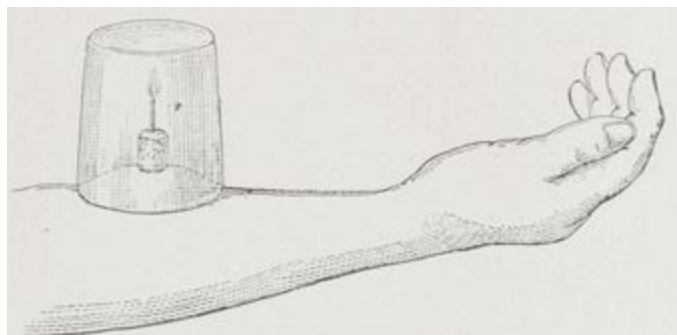
Ou plutôt, n'allez dans aucune fabrique ; je vais vous montrer que vous portez l'appareil sur vous-même.

Donnez-moi votre bras. Je pose dessus un petit bouchon percé, dans le trou duquel j'ai enfilé une allumette en cire, comme une bougie dans son chandelier. Je l'allume, et, pendant qu'elle brûle, je coiffe le tout avec un petit verre renversé (fig. 43). Voyez, la bougie s'éteint, et, dans l'intérieur du verre, votre peau se gonfle comme si elle voulait le remplir. Gomment expliquer ce phénomène ?

Ma chère enfant, c'est le même que celui qui s'est produit dans notre boîte remplie d'argile, et se produit tous les jours dans les fabriques de vermicelle. La pression atmosphérique, répartie sur toute la surface de votre corps, empêche qu'aucune partie ne cède à la pression exercée sur la partie opposée, comme la boîte où j'avais tout à l'heure enfermé l'argile, empêchait cette argile d'être écrasée. L'homme sur le corps duquel passe une voiture est écrasé, parce que la voiture, qui ne pèse que par-dessus, n'empêche pas la matière de son corps, solide ou liquide, de s'échapper par les côtés. Vous, au contraire, en vain vous supportez une charge 30 ou 40 fois plus forte, cette charge étant également répartie de tous côtés, vous ne pouvez pas plus être écrasée que l'argile enfermée dans sa boîte. Mais, de même que lorsque j'ai percé un trou dans la boîte, l'argile en a profité pour s'échapper de même quand l'allumette, en consommant une partie de l'air renfermé sous le verre, a, en quelque sorte, ouvert un trou en un point de

l'enveloppe d'air qui vous protégeait, les fluides de votre bras se sont aussitôt présentés pour passer par ce trou, et vous les avez vus gonfler la peau qui les retenait.

Fig. 43.



Ils l'auraient percée, cette peau, et le sang aurait jailli à travers les pores, si, au lieu d'enlever une très faible partie de l'air contenu dans le verre, nous avions, sous ce verre, fait le vide absolu.

Vous auriez alors éprouvé le sort de ces aéronautes qui, s'élevant à des hauteurs où l'air est très rare, voient le sang leur sortir par le nez, par les oreilles. Il n'est que temps alors d'ouvrir la soupape. Car, mieux que le meilleur baromètre, les fluides de leur corps les avertissent qu'ils abordent des régions où la vie va cesser d'être possible :

Mais vous comprenez maintenant tout cela à merveille, et de même vous allez comprendre ce qu'il me reste à vous dire sur les pompes, pour en finir avec la pression atmosphérique.

XXV^e ENTRETEN

LA POMPE ASPIRANTE

Vous rappelez-vous le jour où mon vieux baromètre nous a fait ses confidences ? Il s'est vanté d'être presque une pompe ; et, ma foi, grâce au mot presque, il avait raison.

La seule différence, c'est que, dans le baromètre, la pression atmosphérique maintient en l'air, malgré la pesanteur, la colonne liquide préalablement élevée, tandis que, dans la pompe, elle l'élève elle-même.

Petite différence théorique, mais, dans l'application, fort grande, puisque l'utilité des pompes est précisément d'élever l'eau.

Et comment l'élèvent-elles ?

Une petite expérience, que je vous engage à faire, vous le fera comprendre aisément.

Sur l'eau d'une cuvette faites flotter un morceau de liège (fig. 44) et, sur ce radeau, placez un bout de bougie allumée.

Est-ce fait ?

Maintenant, coiffez le tout du premier vase venu ; d'un vase en verre, j'entends, pour que nous puissions voir à travers ce qui va se passer.

Fig. 44.



Fig. 45.

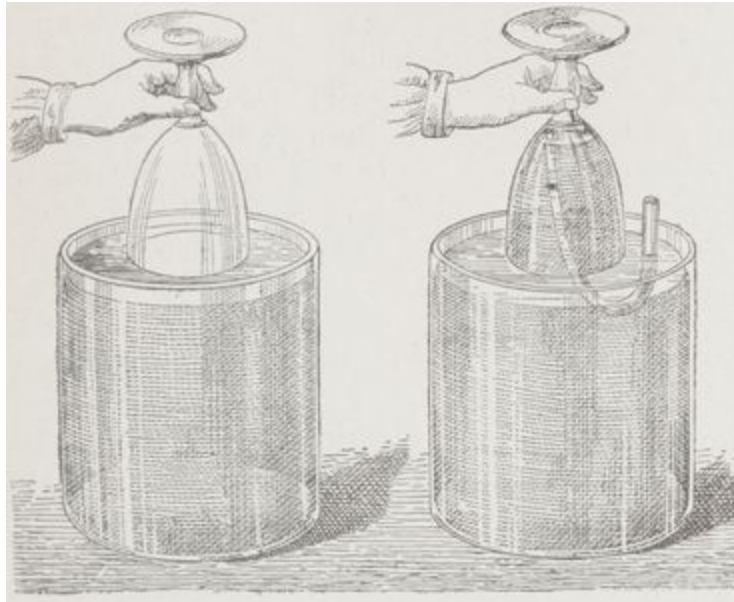


D'abord, vous verrez le radeau descendre presque jusqu'à toucher le fond de la cuvette ; car l'air contenu dans le vase de verre refoule l'eau de la cuvette. Mais bientôt, la bougie ne brûlant qu'aux dépens de l'oxygène contenu dans la cloche, la bougie s'éteint, et en même temps l'air de la cloche, raréfié, ne pouvant plus faire équilibre à la pression atmosphérique, l'eau monte sous la cloche avec le radeau qu'elle supporte (fig. 45).

Pas bien haut, car une partie seulement de l'air de la cloche a été consommée. Mais voici une autre expérience encore plus facile à faire que la première, et qui va nous montrer l'eau montant jusqu'au haut de la cloche.

Prenez un verre de table ordinaire (fig. 46), et, le tenant par le pied, plongez-le dans un vase assez profond pour que le verre s'y enfonce jusqu'au pied, puis relevez-le, le bord seul du verre plongeant dans l'eau.

Fig. 46. Fig. 47.



Le verre restera vide.

Recommencez maintenant l'expérience (fig. 47), après avoir introduit dans le verre un tube de caoutchouc recourbé (un de ces tuyaux dont on se sert pour alimenter les becs de gaz portatifs).

Cette fois, quand vous relèverez le verre, l'eau montera en même temps que lui et le remplira jusqu'au fond.

Pourquoi ? Vous devez le dire vous-même.

Quand j'ai enfoncé le verre, la pression de l'eau a poussé l'air, qui, trouvant une issue par le tube de caoutchouc, est sorti du verre et y a été remplacé par de l'eau. Dès lors, quand je l'ai relevé, la pression atmosphérique, s'exerçant hors du verre et ne pouvant plus s'exercer en dedans, puisqu'il n'y a plus d'air, a fait monter l'eau avec le verre.

Ainsi, règle générale, quand vous plongez dans l'eau un tube où vous avez, par n'importe quel procédé, fait préalablement le vide, l'eau monte dans ce tube. Tel est le principe des pompes, et il ne reste plus, pour savoir construire une pompe, qu'à trouver le moyen pratique de faire le vide dans le tube.

Oh ! il est bien simple, ce moyen, et vous le connaissiez bien longtemps avant d'avoir seulement entendu parler des pompes.

Voyez cette petite seringue à oreilles (fig. 48). c'est un tube de verre dans lequel peut se mouvoir au bout d'une tige un bouchon entouré d'étoupes, et qui, bien que glissant librement dans le tube, le ferme hermétiquement. Par

parenthèse, tout bouchon, grand ou petit, qui peut à la fois fermer hermétiquement un tube et glisser le long de ce tube, s'appelle un piston.

Fig. 48.



Soulevez maintenant ce piston en tirant le liège. Il est clair que, puisqu'il bouche hermétiquement la tige, il y laissera derrière lui le vide, c'est-à-dire rien pour s'opposer à la pression atmosphérique, qui, de dehors, tend à faire monter l'eau dans la seringue, et qui, n'étant pas contre-balancée, poussera cette eau à la suite du piston aussi haut que celui-ci voudra monter.

Aussi haut ? Ne lâchons pas de parole imprudente. S'il s'agissait, en effet, de la seringue à oreilles de Micromégas (cet illustre personnage qui avait, suivant son historien Voltaire, huit lieues de haut), l'eau ne suivrait assurément pas le piston dans les deux kilomètres qu'il gravirait pour arriver au haut de sa gigantesque seringue ; mais avec une seringue de 10 centimètres, comme celle que voilà, ou même beaucoup plus grande, pourvu qu'elle ait moins de 10^m,33, l'eau montera aussi haut que le piston. — Et alors, la seringue est une pompe ?

Un instant. La pompe n'est pas un jouet, mais un instrument d'utilité, avec lequel il ne s'agit pas de faire monter l'eau pour le plaisir de la faire monter, mais bien pour la garder en haut, quand on l'y a une fois amenée.

Or, avec votre seringue, quand vous avez élevé le piston et l'eau avec lui, abaissez-le ; qu'arrivera-t-il ? que le piston chassera l'eau devant lui dans le tube, et la ramènera dans la cuvette où il l'a prise.

En deux coups de piston, vous aurez fait à peu près autant de travail que Sisyphe, quand son rocher, parvenu au sommet de la montagne, lui échappait et dégringolait jusqu'en bas.

Que faudrait-il pour que votre travail devînt fructueux, pour que l'eau, une fois amenée au haut du tube, y restât ?

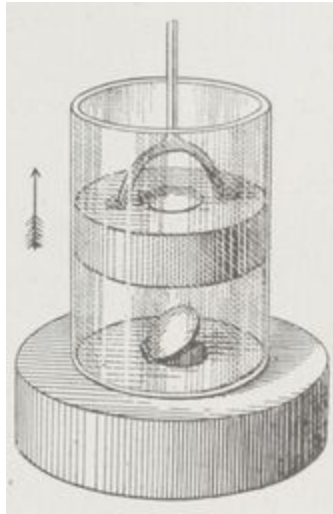
Deux choses : que le tube fût tout à coup bouché par en bas, pour que l'eau, poussée par le piston, ne trouvât plus de porte pour rentrer dans la cuvette, et que le piston se trouvât tout à coup percé, pour que l'eau, qui n'a plus de porte pour descendre dans la cuvette, en trouvât une pour monter au-dessus du piston.

Et ce n'est pas pour rien que je me sers du mot porte. Puisque, en effet, le tube doit être [tour à tour ouvert pour permettre à l'eau de monter, et fermé pour l'empêcher de descendre, et puisque le piston, lui aussi, doit être tour à tour fermé pour laisser le vide derrière lui quand il monte, et ouvert pour laisser passer l'eau quand il descend, il n'y a qu'une porte, ou plus exactement encore une trappe, puisque ces portés s'ouvrent de bas en haut, il n'y a qu'une trappe qui, adaptée au bas du tube et sur le piston, puisse nous permettre de conserver au haut du tube l'eau que la pression atmosphérique y a amenée, et changer en pompe notre seringue à oreilles.

Tenez, voici notre seringue agrandie et pourvue de ses deux trappes, ou plutôt de ses deux soupapes, car il est temps de vous dire le vrai nom de ces fermetures que l'on applique, soit au bas des corps de pompe, soit sur les pistons.

Voyez ; la trappe d'en bas est ouverte : le piston monte (fig. 49), et c'est l'eau, qui, poussée par la pression atmosphérique, l'a elle-même ouverte et qui, maintenant, se précipite par l'ouverture et remplit l'espace compris entre le fond des corps de pompe et le piston.

Fig. 49.



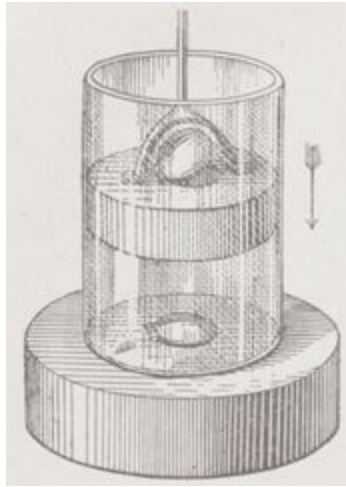
Quant à la soupape ou piston, elle est fermée. Comment serait-elle ouverte ? Elle est pressée par-dessus par la pression atmosphérique, et, dessous, le piston, en montant, laisse le vide.

Elle est donc fermée, et reste fermée tant que le piston monte.

Quand celui-ci, parvenu au haut de sa course, s'arrête, ou, pour parler plus exactement, toutes les fois qu'il plaît à celui qui lève le piston de s'arrêter, la soupape d'en bas, que rien ne pousse plus, se ferme d'elle-même, comme se fermerait la trappe d'une cave que quelqu'un aurait soulevée, de l'intérieur de la cave, à l'aide d'une perche, si tout à coup, cette personne lâchait la perche.

Si alors on vient à baisser le piston, qu'arrivera-t-il ? Vous pensez bien que la soupape d'en bas ne se rouvrira pas : on n'ouvre pas la trappe d'une cave en montant dessus. Mais, en revanche, la soupape du piston que l'eau poussera, de bas en haut, se lèvera, et l'eau, se précipitant par l'ouverture (fig. 50), remplira le cylindre au-dessus du piston.

Fig. 50.



De là, rien de plus facile que de l'envoyer arroser le jardin, tandis que, sans la pompe, elle serait restée dans le puits que nous avons provisoirement figuré par une cuvette, et du fond duquel nous l'avons aspirée.

Aspirée ! Voilà, ma chère enfant, un mot qui m'est échappé, et qui, tout juste qu'il est, va me demander, pour le justifier, une certaine peine.

Juste, il l'est, car la pompe que je viens de vous montrer, et dans laquelle la pression atmosphérique seule est employée à faire monter l'eau, s'appelle une pompe aspirante. Mais pourquoi cette opération, par laquelle un jardinier force la pression atmosphérique à lui monter l'eau nécessaire à ses plates-bandes, s'appelle-t-elle d'un nom si semblable à celui de la respiration ? quel rapport peut-il y avoir entre l'aspiration de la pompe et la respiration du jardinier ?

Vous est-il arrivé, ma chère enfant, ayant bien soif, d'appliquer vos lèvres à la surface d'un seau plein d'eau fraîche et de boire à longs traits ?

Oui, sans doute, il n'est personne qui n'ait goûté ce plaisir (dont il ne faut cependant pas abuser, pour peu que l'on ait chaud).

Mais vous est-il arrivé de vous demander ce que vous faisiez en buvant ainsi ? Vous voilà comme Nicolle quand M. Jourdain lui demande : Que fais-tu quand tu dis U, bien tentée de me répondre : Je buvais.

Et à mon tour, imitant M. Jourdain : « Vous agrandissiez, vous dirai-je, en respirant fortement, la boîte que forment vos côtes et où sont logés vos poumons. »

Agrandie, sans pour cela pouvoir recevoir une plus grande quantité d'air, puisque vos lèvres sont appuyées sur la surface de l'eau, il se faisait un vide partiel dans la boîte, et c'est alors l'eau, que la pression atmosphérique y faisait monter, absolument comme elle la faisait tout à l'heure monter dans la pompe, et voilà pourquoi cette pompe, qui fait exactement ce que vous faites vous-même quand vous aspirez l'eau avec vos lèvres, s'appelle à juste titre : pompe aspirante.

Je vous ferai connaître d'autres espèces de pompes ; mais auparavant, il faut que j'ajoute à ce que je vous ai dit sur la pompe aspirante quelques nouveaux détails, sans lesquels vous la connaîtriez mal. Celle que je vous ai montrée est, en effet, une seringue perfectionnée, mais pas encore une pompe capable de rendre de bien grands services. Et savez-vous pourquoi ?

C'est que, s'il vous fallait élever le piston en tirant directement sur la tige, eh bien, à moins que le tube ne fût bien petit et l'eau du puits bien peu basse, vous ne pourriez en venir à bout.

J'espère bien que vous n'en êtes pas étonnée et me diriez au besoin vous-même pourquoi ?

Vous n'avez, sans doute, pas oublié quelle pression l'atmosphère exerce sur les corps placés à la surface de la terre ?

Vous rappelez-vous votre table d'un mètre carré de surface qui portait 15 000 kilogrammes ?

— Oui, 15 000 kilogrammes, et, sur un piston de seulement 8 centimètres de diamètre, ce qui ne représente pas une bien grosse pompe, la pression n'est pas moindre de 50 kilogrammes... à la vérité, le piston est comme la table, qui, avec ses 15 000 kilogrammes pardessus et ses 15 000 kilogrammes par-dessous, restait aussi facile à manier que si elle n'avait rien porté du tout, s'il porte sur sa tête 50 kilogrammes, qui le rendraient, s'ils étaient seuls, impossible à soulever pour une fillette de votre âge, il a sous ses pieds une pression égale de 50 kilogrammes, transmise par l'eau de la cuvette, et qui, tendant d'elle-même à la soulever, annule la première.

— Oui ; au commencement : Aussi n'est-ce pas de commencer à soulever le piston qui est difficile, mais de continuer, car à peine ce piston a-t-il quitté le fond du corps de pompe, que la pression extérieure s'emploie à soutenir en l'air la colonne d'eau que ce piston entraîne après lui. Plus le piston monte, plus grandit la part de cette pression qui, s'employant à maintenir en l'air la colonne d'eau, ne peut plus contre-balancer la pression exercée sur la tête du piston. Et, quand le piston arrive enfin au haut de sa

course, si le puits était profond de 10^m,33, ce serait la totalité des 50 kilogrammes que devrait soulever la personne qui pompe.

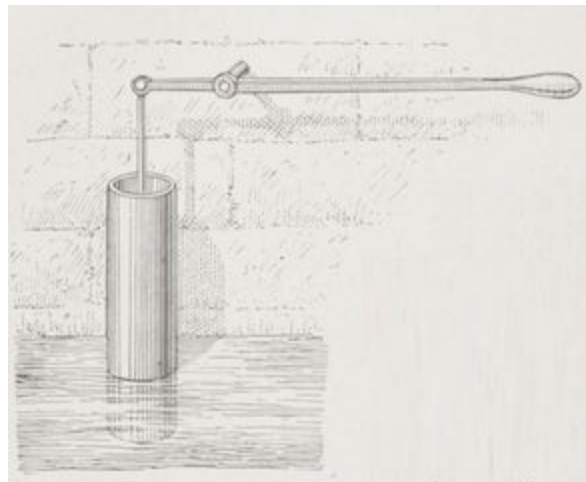
En fait, on ne met jamais une pompe aspirante à un puits de 10^m,33 ; je vous dirai un peu plus tard pourquoi. Mais, en revanche, les pompes ont souvent plus de 8 centimètres de diamètre, et d'ailleurs, que la pression à vaincre soit de 40 ou de 50 kilogrammes, la difficulté n'en est pas notablement diminuée, surtout quand il s'agit de donner un grand nombre de coups de piston.

Voilà pourquoi vous avez toujours vu les pompes munies de ces longs manches sans lesquels la manœuvre en serait impossible.

Approchez-vous de l'un de ces manches, vous reconnaîtrez que ce n'est autre chose qu'un levier. Les fabricants de pompes l'appellent la Brimbale (fig. 51).

Mais ici, autre difficulté : Je vois bien qu'avec la brimbale je peux presque à volonté diminuer l'effort à exercer ; que si, par exemple, je fais le bras de levier de la puissance 4 fois plus grand que celui de la résistance, au lieu des 40 kilogrammes de tout à l'heure, je n'aurai plus à exercer qu'un effort de 10 kilogrammes pour soulever le piston.

Fig. 51.



Mais vous n'avez pas oublié que les leviers ne rendent pas ce genre de service sans le faire payer ; vous vous souvenez du cheval de cabriolet et du cheval de charrette, et du principe de mécanique que nous ont enseigné ces intelligents animaux : Ce qu'on gagne en force, on le perd en vitesse. Vous vous souvenez enfin que si vous appliquez votre main au bout de la

brimbale, vous achèterez l'avantage de ne plus exercer qu'un effort quatre fois moindre, par l'inconvénient de faire quatre fois plus de chemin.

Quatre fois plus de chemin. Comment ferez-vous donc si vous voulez élever l'eau d'un puits de 10 ou seulement de 8 mètres ? Faudra-t-il, pour faire monter de 8 mètres la tête du piston, que votre main monte et descende, à chaque coup de piston, de 32 mètres ?

Il faudrait donc attacher votre main au bout du bras d'un géant.

Puisque ce n'était pas possible, il a fallu inventer autre chose. Mais, pour le comprendre, il faut que vous connaissiez une loi bien simple, et dont l'explication ne nous demandera pas plus de quelques minutes.

Vous vous rappelez, ma chère enfant, que les gaz sont des êtres fort indépendants, fort impatients de toute entrave, et qui, enfermés dans un espace, n'ont rien de plus pressé que de chercher la moindre fissure pour s'échapper de leur prison.

Ils sont, il est vrai, très compressibles ; mais ne croyez pas qu'ils se résignent facilement à être comprimés. Bien au contraire : plus on les comprime, plus ils poussent contre les parois du cachot qui les enferme.

Élargissez au contraire la prison où ils sont captifs ; aussitôt diminue la pression qu'ils exercent contre ses murailles.

Le même gaz qui, enfermé dans un vase d'un mètre cube, soutiendrait en l'air une colonne d'eau de 10 mètres de haut, ne pourra plus résister, dans un vase de deux mètres cubes, qu'à une colonne d'eau de 5 mètres.

Mais, par contre, forcez-le de tenir dans un espace d'un demi-mètre cube, et il faudra 20 mètres d'eau pour lui faire équilibre.

Voilà ce qu'a trouvé, en 1684, l'abbé Mariotte, et, comme chaque fois qu'il essaya de doubler, de tripler, de quadrupler le volume d'un gaz qu'il avait emprisonné, il vit que la tension de ce gaz devenait deux, trois, quatre fois moindre, tandis que pour rendre cette tension deux, trois, quatre fois plus grande, il n'avait qu'à rendre la prison deux, trois, quatre fois plus petite, l'abbé Mariotte, qui savait aussi bien que vous ce que c'est qu'une loi, reconnut qu'il y en avait là une, et c'est elle que, depuis, on a appelée la loi de Mariotte.

Mais vous ne voyez pas encore très bien quel rapport a cette loi avec les pompes. Nous allons y arriver.

Supposez qu'au lieu de faire plonger directement le corps de pompe dans le puits (fig. 52), nous l'y relierions par un tuyau plus ou moins long, que

nous nommerons tuyau d'aspiration, et cherchons ce qui va arriver quand nous élèverons le piston.

Au moment où ce piston quittera le fond du corps de pompe, il laissera le vide derrière lui.

Aussitôt, l'air renfermé dans le tuyau d'aspiration, qui presse sur toutes les parois de ce tuyau, et, par conséquent, sur la soupape, ne trouvant plus sur cette soupape, pour lui résister, aucune pression qui tende à la maintenir fermée, soulève la soupape et remplit le corps de pompe.

Mais c'est ici que la loi de Mariotte entre en scène. Car la même quantité d'air qui était tout à l'heure renfermée dans le tuyau d'aspiration, se répandant maintenant à la fois dans ce tuyau et dans le corps de pompe, ne peut gagner en volume sans perdre en pression. Et comme sa pression était tout à l'heure juste égale à la pression atmosphérique et lui faisait équilibre, elle ne peut plus résister maintenant à cette pression, qui fait monter dans le tuyau d'aspiration une certaine hauteur d'eau.

Quand, parvenue au haut de sa course, le piston s'arrête, la soupape retombe, se ferme, et laisse alors complètement séparés le tuyau d'aspiration d'une part, le corps de pompe de l'autre.

Dans le premier, l'air raréfié continue à ne pouvoir que grâce à l'appui que lui prête la colonne d'eau soulevée, faire équilibre à la pression atmosphérique, et, par conséquent, la colonne reste soulevée.

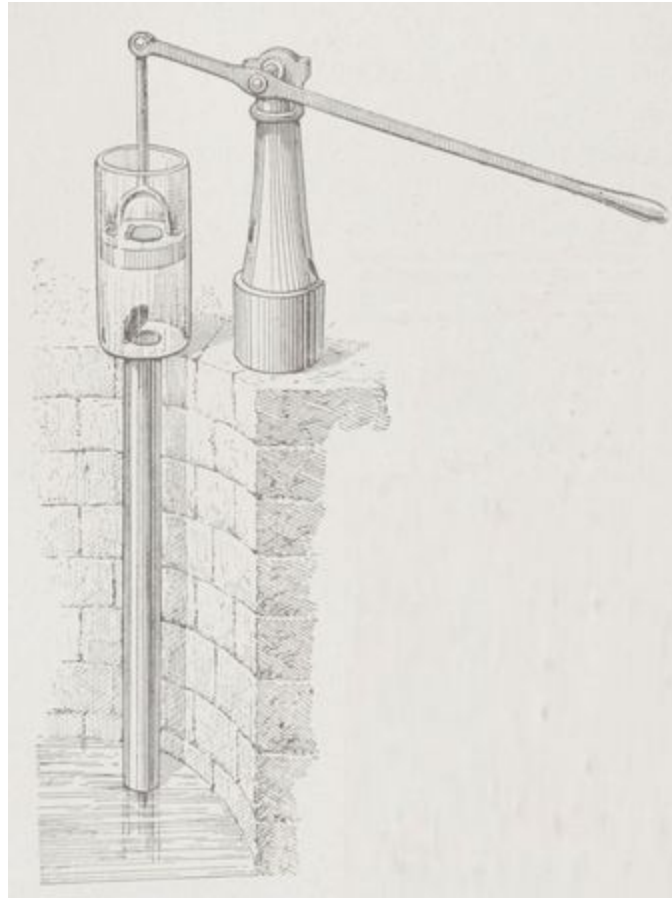
Dans le corps de pompe, le piston, en descendant, rend de plus en plus petite la prison de l'air que contient le corps de pompe. Mais, en rendant sa prison plus petite, il rend aussi sa pression plus grande. Si bien que cette pression ouvre la soupape du piston, et que, par cette trappe, tout l'air contenu sous le piston s'échappe par-dessus.

Au second coup de piston les mêmes phénomènes recommencent, l'eau s'élève un peu plus haut dans le tuyau d'aspiration, et, après quelques coups de piston, elle est montée jusqu'au haut du tuyau et pénètre dans le corps de pompe comme elle y pénétrait quand nous faisons descendre ce corps de pompe directement dans l'eau du puits.

Cette fois, ma chère enfant, nous avons enfin une véritable pompe aspirante.

La première, que nous avons construite sur le modèle de la seringue à oreilles, nous a fait comprendre le principe de la pompe, en nous montrant l'eau remplissant le vide qu'un piston laisse derrière lui quand il monte dans un tuyau cylindrique.

Fig. 52.



Mais l'absence de soupape, en forçant, quand le piston descendait, l'eau à reprendre le chemin par lequel elle était montée, a laissé cette pompe à l'état d'appareil purement théorique, et sans applications.

Alors nous y avons ajouté les soupapes, plaçant l'une au fond du corps de pompe qui plongeait dans le puits, l'autre dans l'épaisseur du piston.

Cette fois nous avons eu non plus une vaste seringue à oreilles, mais une vraie pompe.

Malheureusement, quand nous avons voulu en élever le piston, en tirant directement sur la tige, l'effort à exercer a été si grand, qu'au bout de quelques coups de piston, la fatigue nous a forcés à capituler.

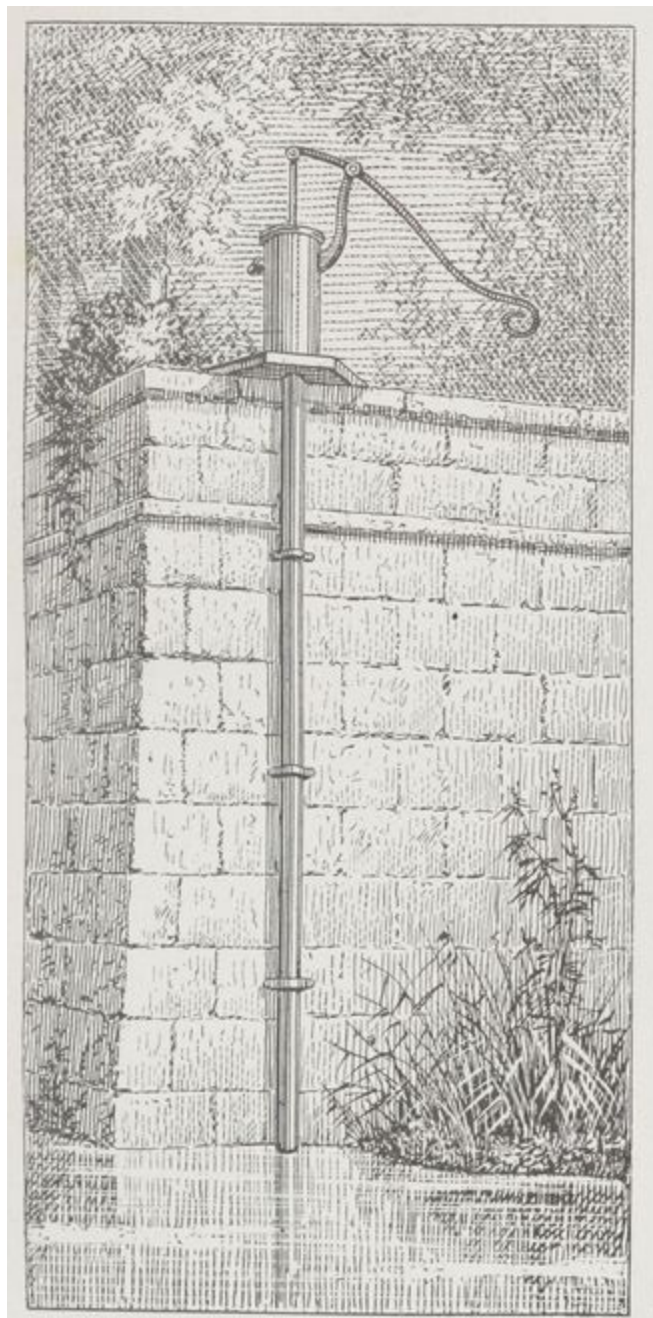
Nous avons eu alors recours à la brimbale, et tout a bien marché d'abord : mais nous n'avons pas tardé à reconnaître que la brimbale ne faisait que déplacer la difficulté ; car si elle diminuait la force nécessaire pour soulever le piston, elle augmentait en proportion le chemin à parcourir par

la main, qui ne parvenait pas à le faire monter du niveau du puits au niveau où il s'agissait d'élever l'eau.

Pour nous tirer de cette nouvelle difficulté, nous avons enfin ajouté à la pompe le tuyau d'aspiration, et cette fois notre machine ne laisse plus rien à désirer. Nous ne donnons au corps de pompe qu'une trentaine de centimètres de haut, et dès lors rien n'est plus facile que d'adapter à la pompe une brimbale dont la course, quatre fois plus grande, par exemple, que celle du piston (fig. 53), et par conséquent égale à un mètre vingt centimètres, n'exige de la main qui le conduit que le quart de l'effet qui serait nécessaire pour élever directement le piston.

Tout est donc pour le mieux, et je n'aurais plus rien à vous dire des pompes, si l'insatiable ambition des hommes ne s'était avisée un jour d'élever l'eau plus haut que 10^m,³³. Gomment ils s'y sont pris, c'est, ma chère enfant, ce que je vous dirai dans le prochain entretien.

Fig. 53.



XXVI^e ENTRETIEN

LA POMPE FOULANTE

Certes ce fut un habile homme, celui qui, ayant envie d'amener dans son jardin l'eau qui dormait inutile au fond d'un puits, s'adressa à la pression atmosphérique, et dit à ce serviteur d'un nouveau genre : « Va me la chercher ! »

La pression atmosphérique ne se fit pas prier, et vous savez qu'elle monta l'eau de bonne grâce.

Mais le meilleur serviteur du monde ne peut donner que ce qu'il a, et puisque la pression atmosphérique n'avait la force de porter l'eau qu'à dix mètres, on ne pouvait pas lui demander de la porter plus haut.

Je l'y monterai donc moi-même, dit l'homme, aussitôt qu'il eut constaté l'impuissance de son serviteur. Et, comme il l'avait dit, il le fit.

Fig. 54.



Vous rappelez-vous ? quand nous avons voulu étudier ensemble le baromètre, nous avons imaginé qu'un vase plein d'eau était hermétiquement bouché par un piston percé d'un trou.

Sur ce piston je vous ai fait presser de haut en bas de toutes vos forces, et je vous ai demandé : à quelle hauteur ferez-vous monter l'eau par le trou du piston ?

Et vous m'avez répondu : Si je suis de force à tenir en l'air une colonne d'eau de 6 mètres, à 6 mètres ; de 8 mètres, à 8 mètres ; de 10^m,33, à 10^m,33.

Nous ne sommes pas allés plus loin, parce que c'était inutile pour ce que nous voulions savoir alors ; mais il est évident que si vous aviez été assez forte pour soulever une colonne d'eau de 20, de 30 mètres, en appuyant sur le piston, un tuyau adapté au trou du piston aurait élevé à 20 à 30 mètres l'eau renfermée sous le piston dans le vase.

La hauteur à laquelle vous auriez pu faire monter l'eau n'aurait eu d'autre limite que celle de votre propre force (fig. 54).

Et voilà justement le principe des nouvelles pompes que j'ai à vous montrer. Dans ces pompes, nous ferons monter l'eau nous-même, en appuyant sur le piston, et comme, avec une convenable brimbale, nous arriverons à produire une pression presque indéfinie, c'est aussi à une hauteur presque indéfinie que nous ferons monter l'eau.

Mais vous pensez bien que là aussi il nous faudra des soupapes. Dès que l'eau en effet a opéré son ascension dans le tuyau par lequel on veut la faire monter, et qu'on appelle précisément tuyau d'ascension, elle tend à redescendre, et redescendrait en effet, aussitôt que la personne qui pompe se permettrait de prendre un peu de repos, si une soupape, en se refermant, ne lui fermait le chemin du retour.

Mais les discours ne servent de rien, et il vaut mieux vous montrer une pompe.

Eu voici une, en verre, qui laisse voir les organes intérieurs.

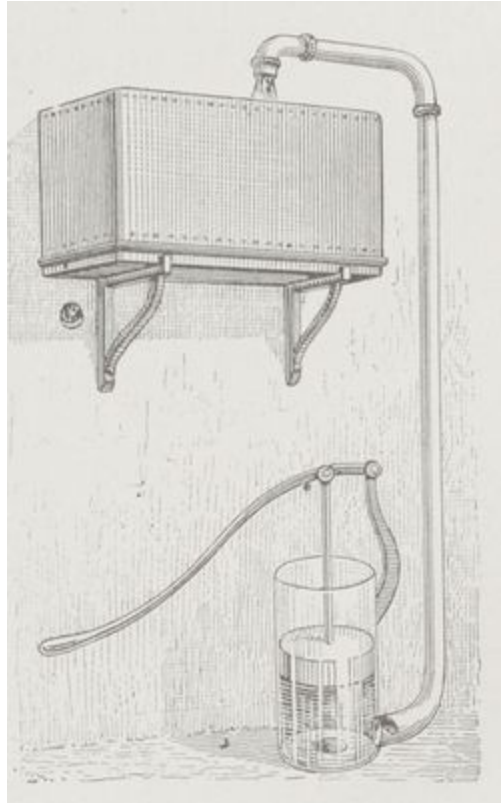
Vous remarquez que le fond est, comme dans la pompe aspirante, percé d'une ouverture, que peut fermer une soupape ouvrant de bas en haut. C'est par là que pénètre l'eau aussitôt que le piston s'élève.

Quant au piston, il n'est pas percé, comme celui des pompes aspirantes. Mais si vous regardez attentivement la pompe, vous verrez, à droite, c'est-à-dire du côté opposé au levier de la brimbale, le tuyau d'ascension (fig. 55)

scudé au corps de pompe, et, entre les deux, une soupape qui ouvre vers le tuyau d'ascension.

Elle est ouverte en ce moment. Pourquoi ? C'est que le piston descend et, refoulant l'eau devant lui (l'eau qui est incompressible), la pousse contre cette soupape, la force à l'ouvrir, et, par cette porte, l'envoie dans le tuyau d'ascension.

Fig. 55.



Si alors, à un moment quelconque, celui qui manœuvre la brimbale s'arrête, la soupape se referme par son propre poids, et l'eau déjà élevée reste dans le tuyau d'ascension, pour recommencer à monter, aussitôt que l'homme à la brimbale recommence à peser sur le piston.

Ainsi, la manœuvre de la pompe comporte, comme disent les sergents instructeurs, deux temps.

Premier temps : le piston monte ; la soupape du fond s'ouvre ; l'eau pénètre dans le corps de pompe.

Deuxième temps : le piston descend ; la soupape du fond se ferme, mais celle du tuyau d'ascension s'ouvre ; l'eau pénètre par cette porte ouverte

dans le tuyau d'ascension, et y est refoulée par la force de l'homme qui pèse sur le piston, jusqu'au réservoir dans lequel il a voulu l'amener.

Cette espèce de pompe, dans laquelle la force de l'homme qui pompe refoule l'eau dans le tuyau d'ascension, s'appelle, à cause de cette particularité : pompe foulante.

Elle a sur la pompe aspirante l'avantage de pouvoir élever l'eau à une hauteur très grande ; mais, en revanche, elle exige un plus grand déploiement de force, puisque c'est, avec cette pompe, le pompier qui supporte seul le poids de toute la colonne qu'il élève.

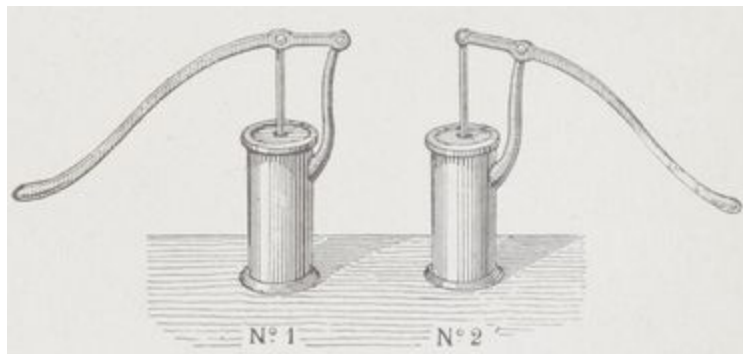
A cause de cela, il est important de donner à la brimbale la disposition la plus propre à permettre l'utilisation de toute la force de celui qui manœuvre la pompe.

Cette disposition, j'allais vous la dire, mais j'aime bien mieux, ma chère enfant, vous proposer une devinette qui vous permettra de la trouver vous-même, et vous la gravera pour toujours dans la mémoire.

Voici le portrait de deux pompes, n° 1 et n° 2, que je viens de faire dans l'atelier du fabricant.

Toutes deux sont en fonte, et par conséquent vous ne pouvez pas, à travers le métal, apercevoir la disposition des pistons et des soupapes.

Fig. 56.



Toutes deux sont exactement pareilles de formes et de dimensions : aucune des deux n'a encore reçu ni tuyau d'aspiration, ni tuyau d'ascension (fig. 56).

Et cependant l'une est destinée à recevoir un tuyau d'aspiration ; ses soupapes et son piston en font une pompe aspirante.

L'autre doit recevoir un tuyau d'ascension. Ses soupapes et son piston en font une pompe foulante.

Laquelle est aspirante ?

Laquelle est foulante ?

Je vais répondre à cette question par une série d'autres questions :

Dans chacune des deux pompes, quel est le mouvement qui exige le plus grand effort, celui qui fait monter, ou celui qui fait descendre le piston ?

Évidemment dans la pompe aspirante c'est celui qui le fait monter, dans la pompe foulante celui qui le fait descendre.

Et quel est, sur la brimbale, l'effort le plus efficace, celui qui la baisse, ou celui qui la lève ?

Évidemment celui qui la baisse.

Donc il faut nous arranger pour que, en agissant sur la brimbale pour la faire baisser, nous fassions baisser le piston de la pompe foulante et monter celui de la pompe aspirante.

Donc enfin le n° 1, où la brimbale est un levier du second genre, et par conséquent, fait mouvoir dans le même sens la main du pompier (puissance), et la tige du piston (résistance), est une pompe foulante, tandis que le n° 2, où la brimbale est un levier du premier genre, et fait conséquemment mouvoir en sens inverse la main du pompier et la lige du piston, est une pompe aspirante.

J'ai souvent employé, ma chère enfant, pour désigner l'homme qui fait mouvoir la pompe, l'expression de pompier.

Les gens qui portent officiellement ce nom de pompiers manœuvrent une pompe foulante particulière, la pompe à incendie, qui mériterait bien les honneurs d'une description spéciale.

Mais elle est un peu compliquée pour une fillette de votre âge. Je vais me contenter de vous montrer une pompe dont le principe est exactement le même que celui de la pompe à incendie, qui pourrait même au besoin en servir, pour éteindre l'incendie en miniature d'un ou deux fagots, et qui vous permettra de comprendre à merveille la véritable pompe à incendie, la première fois qu'il vous en tombera une sous les yeux.

Les pompes foulantes que nous avons étudiées jusqu'ici ont l'avantage d'élever ou (ce qui est à peu près la même chose) de lancer l'eau très haut ; mais elles ne la lancent que par intervalle, par intermittence, et seulement quand le piston s'abaisse.

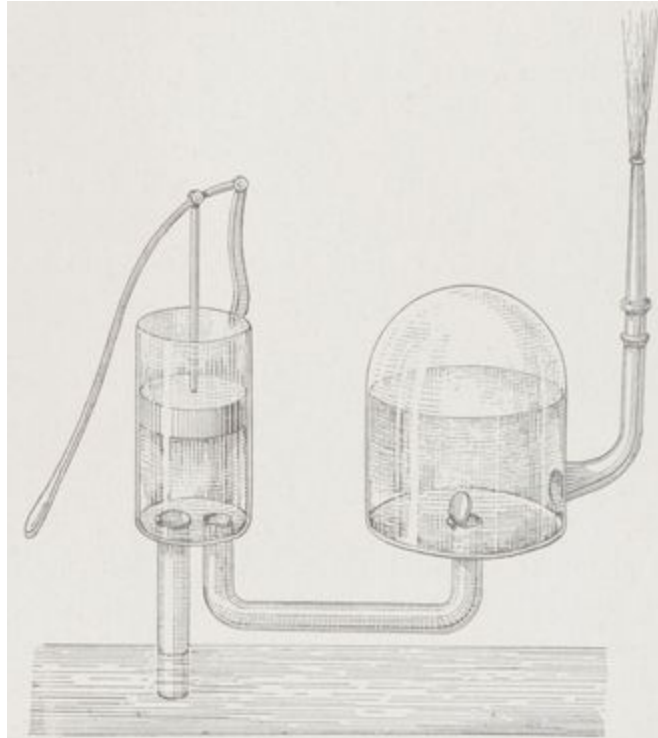
Or le feu, dans les incendies, n'a pas la patience d'attendre que les pompiers baissent le piston. Il brûle toujours, et, pour l'éteindre, il faut lancer dessus un jet d'eau continu.

La pompe que j'ai dessinée là, à votre usage, remplit parfaitement cette condition.

Je l'ai supposée en verre pour que vous puissiez voir à travers les parois tout ce qui se passe en dedans.

En ce moment le piston est en train de descendre. Par conséquent la soupape d'aspiration est fermée.

Fig. 57.



A côté de cette soupape, et au fond du corps de pompe (fig. 57), vous voyez un trou auquel est adapté un tuyau recourbé.

Suivez ce tuyau, vous verrez qu'il vient déboucher sous une espèce de cloche, par un orifice qu'une soupape peut fermer.

Pour le moment cette soupape est ouverte, et, par l'orifice, l'eau du corps de pompe refoulée par le piston, se précipite dans la cloche.

A la vérité cette eau peut sortir de la cloche par le tuyau d'ascension que vous y voyez appliqué à droite ; mais comme ce tuyau, que termine une lance semblable à celles dont sont armés les hommes chargés d'arroser les rues, débite à chaque instant moins d'eau qu'il n'en arrive du corps de pompe, l'air réfugié au haut de la cloche s'y trouve resserré dans un espace de plus en plus petit.

Alors, fort de la loi de l'abbé Mariotte, il regimbe contre le carcere duro auquel on prétend le condamner, presse d'autant plus fort qu'on le resserre davantage, et si bien que, pendant l'ascension du piston, c'est-à-dire au moment où la main du pompier ne pousse plus l'eau dans la lance, c'est lui qui la pousse, et donne ainsi la continuité du jet.

Et voilà, ma chère enfant, comment la loi de Mariotte aide les pompiers à éteindre plus vite et mieux les incendies.

Malheureusement, si cette loi est l'amie des pompes foulantes, elle est au contraire brouillée avec les pompes aspirantes, à qui elle joue d'assez vilains tours.

Vous rappelez-vous que je vous ai promis de vous dire pourquoi les pompes aspirantes n'élèvent jamais l'eau à 10^m,33, et pourquoi il faut être très content du fabricant dont la pompe fait monter l'eau à 8 mètres ou 8m,50 ?

Eh bien, si la loi de Mariotte n'est pas la seule cause de ce mécompte, vous allez voir qu'elle y a une bonne part de responsabilité.

Quand deux concurrents sont de même force, il suffit de la moindre inégalité dans les instruments de la lutte pour faire pencher vers le mieux armé la victoire : De deux chevaux de course égaux en vitesse, celui dont le cavalier pèse quelques kilos à peine de moins que l'autre, arrivera le premier : de deux tireurs de même force, si l'un prend un fleuret un peu plus lourd, il sera vaincu.

La pompe aspirante nous donne le spectacle d'un combat entre la pression atmosphérique qui, par dehors, tend à faire monter l'eau dans la pompe, et la pesanteur, qui, dans le tuyau d'aspiration, tend à faire retomber l'eau élevée.

Dans le baromètre, ces deux forces sont égales ; et s'il s'agit d'un baromètre à eau, la colonne d'eau se tient à 10^m,33, hauteur dont le poids fait équilibre à la pression atmosphérique. Mais il est clair que c'est à la condition formelle qu'il n'y a pas la moindre parcelle d'air emprisonnée dans la branche fermée du baromètre ; car si cet air venait, par sa pression, aider la pesanteur à faire descendre la colonne, les deux adversaires, la pesanteur et la pression atmosphérique, ne combattraient plus à armes égales. La pression atmosphérique serait comme le cheval de course dont la charge est plus lourde. Elle serait vaincue, et ce n'est plus à 10^m,33, mais à 10 mètres, à 9^m,50, à 9 mètres, etc...., plus ou moins suivant la puissance de

l'aide que prêterait à la pesanteur l'air emprisonné dans le tube barométrique, que la pression atmosphérique élèverait la colonne d'eau.

Or c'est précisément ce qui se passe dans la pompe aspirante. Le vide ne s'y ferait que si le piston touchait exactement le fond du corps de pompe, y était appliqué par tous ses points. Alors, mais alors seulement, le piston, en se séparant, quand on l'élèverait, du fond du corps de pompe, laisserait le vide derrière lui.

Mais vous sentez bien que cette parfaite adhérence du fond du piston avec le fond du corps de pompe est impossible. Quand vous posez un livre sur une table, le livre ne touche pas la table par tous ses points, et la preuve, c'est que vous pouvez facilement mettre entre le livre et la table, soit un carré de papier, soit un pain à cacheter, ou tout autre objet mince et plat.

Il en est de même entre le fond du corps de pompe et celui du piston : un petit espace existe toujours entre les deux surfaces, et vous pensez bien que l'air ne manque pas de s'y insinuer ; quand alors vous levez le piston, ce n'est donc pas le vide que vous laissez derrière, mais l'air qui s'était glissé, pour nuire à la perfection de la pompe, entre le piston et le fond du corps de pompe, dans cet espace dont je vous ai montré l'existence, et qu'on a très justement nommé espace nuisible.

Si, à l'influence de l'espace nuisible, influence plus ou moins grande selon le degré de perfection de la pompe, vous ajoutez celle du poids de la soupape que l'eau doit soulever, puis le défaut d'herméticité du piston, qui laisse quelquefois passer une petite quantité d'air entre lui et les parois du corps de pompe, vous comprendrez comment il arrive parfois que dans les pompes communes, par exemple celles qu'on installe sur les puits des jardins, on donne en vain deux, trois, dix coups de brimbale, sans voir apparaître l'eau.

Si vous consultez alors le jardinier, il vous dira qu'il faut allumer la pompe.

Allumer une pompe, singulière expression et aussi logique que pourrait l'être la prétention de marier l'eau et le feu. Mais laissez faire le jardinier, et vous verrez qu'il n'allume rien du tout. Il verse simplement dans le trou par où la tige du piston sort de la pompe un peu d'eau qui, recouvrant le piston, empêche que l'air ne pénètre entre lui et le corps de pompe. Dès lors la pompe est, non pas allumée, mais amorcée ; l'eau peut obéir à la pression atmosphérique, qui n'est plus contrariée que par celle de l'air de l'espace nuisible, et l'eau ne tarde pas à monter, sinon à 10^m,33 (nous avons vu que

c'est impossible), du moins à 8 mètres, 8^m,50, quelquefois 9 mètres si la pompe est particulièrement bien construite ; mais il est prudent de ne jamais compter sur cette hauteur.

Au delà, on a recours à la pompe foulante, ou même à une combinaison de la pompe foulante et de la pompe aspirante, c'est-à-dire à une pompe foulante pourvue d'un tuyau d'aspiration. Tant que le piston monte, cette pompe fonctionne comme pompe aspirante. Quand il descend, comme pompe foulante.

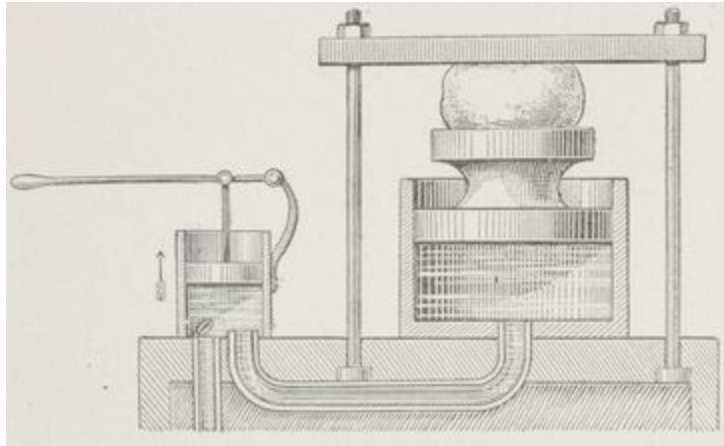
Ce maître Jacques des pompes s'appelle la pompe aspirante et foulante. Avec elle j'aurais fini tout ce que je voulais vous apprendre des pompes, si je ne vous avais promis autrefois de compléter, après que nous aurions parlé des pompes, ce que nous avons dit de la presse hydraulique⁵.

Vous vous rappelez qu'en posant 1 kilogramme sur la bonde d'une barrique, nous avons tenu en équilibre 10 kilogrammes posés, tantôt sur dix bondes égales à la première, tantôt sur une seule bonde dont la surface était, à elle seule, égale à dix fois la surface de la première, et que de cette expérience nous avons conclu la possibilité d'exercer, avec un effort de 1 kilo sur la bonde simple, un effort de 10 kilos sur la bonde décuple.

Ce remarquable résultat est obtenu au moyen de la presse hydraulique.

Une pompe foulante, au lieu de refouler l'eau dans un réservoir d'air, l'envoie dans un cylindre (fig. 58) où peut se mouvoir un piston plein sous lequel arrive l'eau refoulée. Ce piston, que l'eau tend à soulever, applique le corps à presser contre une plaque fixe : il est clair que si la surface du piston de la pompe foulante est dix fois plus petite que celle du piston de la presse, chaque kilo de force exercé sur le piston de la pompe fera subir au corps à comprimer une pression de 10 kilos. Si le piston de la pompe est, en surface, le centième, le millième de celui de la presse, c'est 100, 1000 kilos que nous exercerons sur le corps à comprimer, au moyen d'un seul kilo exercé sur le piston de la pompe.

Fig. 58.



Mais il ne faut pas oublier que ce qu'on gagne en force, on le perd en vitesse ; qu'il ne passe sous le piston de la presse que l'eau qu'y refoule le piston de la pompe, et que, par conséquent, pour refouler de 1 centimètre le corps à comprimer, ce qui revient à faire monter de 1 centimètre le piston de la presse, il faut, si la presse est par exemple au centième, avoir fait avancer d'un mètre le piston de la pompe, c'est-à-dire avoir donné le nombre de coups de piston nécessaire pour que, ajoutés bout à bout, les chemins parcourus par le piston de la pompe en descendant fassent un mètre.

Cet admirable instrument, à l'aide duquel on obtient aisément des pressions de 4 à 5000 kilogrammes, est employé dans une foule d'industries, foulage des draps, extraction des huiles, etc. Il n'est permis à aucun Français d'ignorer que c'est Pascal qui en a le premier donné le principe.

XXVII^e ENTRETEN

IDÉE DE LA MACHINE A FAIRE LE VIDE. — DIVERS APPAREILS DOMESTIQUES

Toutes les pompes que nous avons [étudiées jusqu'à présent étaient destinées à élever l'eau. C'est en effet le seul liquide qui se trouve assez abondamment dans la nature pour nécessiter l'emploi de machines destinées à l'élever.

Mais il va sans dire que toutes pourraient servir à n'importe quel autre liquide.

Fig. 59.



Le vin, l'huile, le mercure suivraient dans sa marche ascensionnelle le piston de la pompe aspirante. La seule différence, c'est que ces divers liquides la suivraient à des hauteurs différentes. Le vin, un peu plus léger que l'eau, s'élèverait un peu plus haut. Plus légère encore, l'huile, dont la

densité n'est que les neuf dixièmes de celle de l'eau, au lieu de 10 mètres monterait environ à 11.

Par contre, le mercure, qui est 13 fois plus dense que l'eau, monterait 13 fois moins haut, ou environ à 76 centimètres.

Il n'y a, dans ces constatations, rien qui soit nouveau pour vous.

Mais supposons que nous essayions, au lieu de liquide, de pomper, d'aspirer de l'air : y réussirons-nous ?

Voici, par exemple, un flacon ; au lieu de bouchon, je le ferme avec une petite pompe aspirante (fig. 59), et j'en élève le piston. Que va-t-il arriver ?

Que l'air de la carafe, qui est à la pression atmosphérique, poussant par-dessous la soupape, au-dessus de laquelle le piston laisse le vide, l'ouvrira, et se répandra dans le corps de pompe tant que le piston montera.

Au moment où il cessera de monter, la soupape retombera, et les deux espaces, le corps de pompe et la carafe, seront séparés comme deux chambres dont on ferme la porte de communication.

Quand le piston descendra, l'air du corps de pompe, comprimé par lui et ne pouvant rentrer dans la carafe puisque la porte est fermée, ouvrira l'autre porte, celle qu'il peut ouvrir, je veux dire la soupape du piston, et s'échappera par là dans l'atmosphère.

Un second coup de piston lancera dans l'atmosphère une nouvelle portion de l'air de la carafe, et ainsi de suite.... j'ai failli dire : indéfiniment, par habitude, et l'habitude m'aurait ici joué un vilain tour, car il est évident que ce ne peut être indéfiniment.

Alors même en effet que notre pompe serait parfaite ; alors même que le piston en toucherait exactement le fond sans laisser le moindre espace nuisible (et nous avons vu que cette perfection est impossible), il arriverait un moment où l'air de la carafe, qui, à mesure qu'il devient plus rare, a plus de place pour s'étendre et, par conséquent, en vertu de la loi de Mariotte, moins de tension, n'en aurait plus assez pour soulever la soupape.

A ce moment, on aurait beau élever et abaisser le piston de la pompe, on n'ôterait plus de la carafe une seule molécule d'air.

Mais il n'en est pas moins vrai que la pompe que nous venons de décrire est une véritable machine à faire le vide.

On en fait de beaucoup plus perfectionnées, et vous les verrez plus tard, si jamais vous suivez un cours de physique. Mais le principe en est absolument le même, et si vous avez bien compris comment fonctionne la pompe aspirante, il vous suffira de voir une machine pneumatique (c'est

ainsi que s'appelle la machine à faire le vide), pour en comprendre tout aussi bien le fonctionnement.

Et maintenant, ma chère enfant, voulez-vous que nous causions ménage ?

N'ouvrez pas ces grands yeux étonnés. Je parle sérieusement, et, du cabinet de physique, au seuil duquel je vous ai conduite et où j'ai failli vous faire pénétrer, c'est à l'office, peut-être même à la cuisine, que je vais vous conduire.

J'aperçois, rangés en bel ordre, un appareil pour faire l'eau de Seltz, un siphon pour transvaser le vin d'une barrique dans l'autre, une pipette pour le goûter, un soufflet pour souffler le feu, une lampe à modérateur et une lampe à pétrole. Il ne faut pas qu'une petite ménagère comme vous, qui est maintenant presque aussi savante que le maître de philosophie de M. Jourdain, se serve de ces appareils comme s'en servait Nicole ; nous allons donc nous arrêter un instant devant chacun d'eux.

Voici d'abord l'appareil à eau de Seltz. Si vous demandiez à Nicole, (votre Nicole à vous, car la véritable ne connaissait pas l'appareil à eau de Seltz) comment il faut s'en servir :

« On sépare, en les divisant, vous dirait-elle, les deux globes de verre (fig. 60), et on les pose à côté l'un de l'autre, sur une table, chacun sur son pied.

Fig. 60.



« Tenez, celui de droite, qui a un pied de porcelaine et porte un robinet, c'est pour les poudres, et celui de gauche, qui a un pied en verre, c'est pour l'eau. Et appuyé contre le premier, vous voyez le bouchon. »

Ainsi dirait Nicole, et vous ne seriez guère plus avancée qu'auparavant : car les poudres, l'eau, le bouchon, qu'allons-nous faire de tout cela ?

Et d'abord savez-vous ce que nous nous proposons, en faisant de l'eau de Seltz ? Tout simplement de mettre dans notre eau un peu de ce gaz dont je vous ai prononcé le nom, acide carbonique, quand je vous ai parlé de l'air, et qui a la propriété de tuer ceux qui le respirent.

Mais il ne faut pas prendre pour cela cet air effrayé, car si l'acide carbonique tue ceux qui le respirent, il fait le plus grand bien à ceux qui l'avalent, en aidant leur estomac à préparer cette bouillie dont vous avez lu la description dans l'Histoire d'une bouchée de pain.

Cet acide... mais pour vous faire bien comprendre comment notre appareil sert à le préparer, il faut reprendre les choses de plus haut.

Si vous trempez dans du vinaigre un bout de papier teint en bleu par de la teinture de tournesol (je n'en ai pas là sous la main, mais vous en trouverez chez le premier pharmacien venu), vous le verriez aussitôt devenir rouge, et ce même papier rouge, si vous le trempez ensuite dans de la lessive, redeviendrait bleu.

Une foule de corps ont ainsi la propriété, les uns de rougir le papier de tournesol, les autres de lui rendre sa couleur bleue, et si quelque mauvais plaisant s'avisait après vous avoir fait fermer les yeux, de vous mettre sur le bout de la langue une goutte d'un liquide qui rougit le tournesol ou d'un liquide qui le ramène au bleu, vous ne vous y tromperiez pas. Les premiers ont une saveur acide comme celle du vinaigre, des fruits verts et... je ne sais pas pourquoi je vais chercher si loin mes exemples, comme celle de cette eau de Seltz que vous ne savez pas encore faire ; mais il suffit, pour connaître sa saveur, de savoir la boire. Les autres ont une saveur fade, douceâtre, comme celle de la lessive ou de l'eau de savon.

C'est, au surplus, une expérience qu'il ne faut pas faire, car les acides (c'est ainsi qu'on appelle les substances qui rougissent la teinture bleue du tournesol) ne sont pas, en général, plus sains à goûter que les bases (c'est le nom des substances qui ramènent au bleu cette teinture préalablement rougie par un acide).

Aussi n'est-ce pas de les goûter qu'il s'agit, mais de vous apprendre que ces deux espèces de corps, les acides et les bases, ont l'une pour l'autre, comment dirai-je ? un goût ? une affection ? disons, comme les chimistes, une affinité, qui les porte à s'unir ensemble, et que l'union, la combinaison des deux s'appelle un sel.

Cette affection ou affinité est même très jalouse, très exclusive, au point que si, en présence d'un sel déjà formé, vous mettez un acide, les deux acides, celui qui, avec la base, forme le sel, et l'acide nouveau venu, se disputent la base. Il faut que le plus faible cède la place, et la base reste au plus fort.

C'est précisément cette jalousie que nous allons utiliser pour fabriquer l'eau de Seltz, et nous voici, par ce long détour, revenus à notre appareil.

Nicole nous a déjà dit que, dans le vase de gauche, il fallait mettre l'eau. Dans celui de droite, celui qui est muni d'un robinet et porté sur un pied de porcelaine, nous versons les poudres renfermées dans deux paquets, l'un bleu, l'autre blanc, qu'on achète chez le pharmacien.

La poudre du paquet bleu est un sel que les chimistes appellent bicarbonate de soude, et qui se compose, comme tous les sels, d'une base, la soude, et d'un acide, l'acide carbonique.

L'autre paquet, le blanc, contient un acide, l'acide tartrique, et c'est vous dire qu'aussitôt que les poudres seront en présence, les deux acides, tartrique et carbonique, vont se livrer bataille pour savoir à qui restera la possession de la soude.

Aussitôt, je me trompe. Il ne suffit pas en effet que les poudres soient dans le même vase pour que le combat s'engage. Il faut encore que le contact entre elles soit intime, et, pour cela, qu'on ajoute un peu d'eau dans ce vase.

C'est précisément ce que nous allons faire, et vous allez assister au combat.

Voyez-vous ce bouchon que Nicole a appuyé contre le vase où nous avons mis les poudres ? Ce n'est pas un bouchon ordinaire ; il est en étain creux, et prolongé par un tube du même métal.

Au bas, vous pouvez voir des trous par lesquels l'eau peut facilement couler ; vers le milieu, sur un renflement plat, une foule d'autres trous excessivement petits, assez petits pour que l'eau ne puisse pas passer à travers.

Fermons hermétiquement le goulot du vase où nous avons versé les poudres avec le bouchon, puis, le retournant, enfonçons dans l'eau de l'autre vase le tube qui surmonte le bouchon, et vissons les deux vases l'un sur l'autre. Enfin retournons le tout dans la position où vous voyez cet autre appareil que j'ai mis là, tout monté, à droite du vase aux poudres.

C'est maintenant qu'il faut ouvrir l'œil. Voyez, par le tube, qui arrive jusqu'au haut de l'appareil, un peu d'eau a coulé du vase supérieur dans le vase inférieur ou vase aux poudres, et aussitôt les deux rivaux, l'acide carbonique et l'acide tartrique, qui se regardaient de travers depuis qu'ils étaient enfermés ensemble, ont commencé le combat.

Vous pouvez en suivre les péripéties. La lutte produit un grand tumulte dans l'eau du vase inférieur, que vous voyez agitée, et traversée par une foule de bulles.

Hélas ! ces bulles, c'est le pauvre acide carbonique qui prend la fuite et cède à son heureux rival la place qu'il tenait du droit de premier occupant.

Et quand je dis hélas ! c'est en me mettant au point de vue de l'acide carbonique, car au nôtre, sa défaite est fort heureuse.

Vaincu, en effet, il fuit à travers le tube du bouchon et entre dans le vase supérieur par les trous du milieu, ces petits trous qui ne laissent pas couler l'eau, mais à travers lesquels le gaz passe à son aise, et se répand dans l'étroit espace qui reste entre le haut du vase et le niveau de l'eau.

Là, forcé de se contenter d'une très petite place, la loi de Mariotte l'oblige à prendre une forte tension. Il presse sur l'eau, y pénètre, s'y dissout, en même temps qu'il lui imprime cet élan qui fait se précipiter impétueusement l'eau mousseuse, l'eau de Seltz, dans votre verre dès que vous tournez le robinet.

Approchez-vous, vous assisterez à tous les phénomènes que je viens de vous décrire, ou plutôt non, ne vous approchez pas trop ; car pour vous laisser voir à travers le verre tout ce qui se passe dedans, j'ai ôté, comme vous voyez, les jons dont les vases sont habituellement clissés, et c'est, malgré la grande épaisseur du verre, une imprudence, car la pression s'élève jusqu'à 5 ou 6 atmosphères.

Aussi bien, je suppose que l'appareil ne vous offre plus aucune difficulté, et il est temps de passer à un autre, dont je vous ai promis l'explication.

Voici deux tubes barométriques (fig. 61), c'est-à-dire fermés à une extrémité, ouverts à l'autre. Qu'ils soient droits ou un peu recourbés vers la partie fermée, vers le haut, c'est ce qui nous importe peu. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'il suffit de les remplir d'un liquide quelconque, puis de boucher avec le pouce le bout ouvert, et de les renverser dans une cuvette pleine du même liquide, pour en faire deux baromètres.

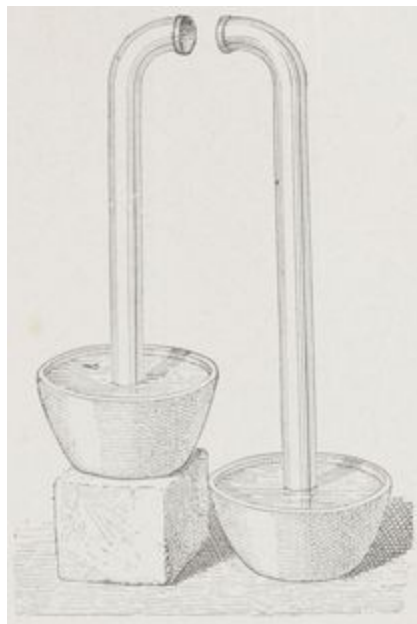
Si le liquide était du mercure, son niveau supérieur s'arrêterait, dans chaque tube, à environ 76 centimètres au-dessus du niveau du liquide dans

la cuvette. Mais, comme nous y avons mis de l'eau, et que les tubes ont moins de dix mètres, l'eau les remplit entièrement.

Elle tend même à monter plus haut, puisqu'elle s'élèverait à 10^m,33, si le tube était assez long, et par conséquent pousse le fond supérieur de chaque tube, comme, dans une balance, la moitié gauche du fléau pousserait de bas en haut la main qui essaierait de maintenir le fléau horizontal, si le plateau de droite était chargé de poids.

Mais voyez, les deux tubes sont d'inégale longueur : celui de droite est plus long que celui de gauche ; une plus grande partie de la pression atmosphérique est donc équilibrée par la colonne de droite que par celle de gauche, et par conséquent l'eau du tube de droite presse moins fortement sur le fond supérieur de ce tube de gauche que l'eau du tube ne presse sur le fond de ce tube.

Fig. 61.



Ainsi le fléau de notre balance poussera ma main avec d'autant moins d'énergie que j'aurai mis dans le plateau qui est sous ma main un contrepoids plus fort pour équilibrer une partie des poids qui emportent le plateau opposé.

Il est clair que si, par exemple, le tube de droite a 1 mètre de long, des 10 mètres d'eau que la pression atmosphérique fait peser sur la cuvette, le fond

du tube n'en supporte que 9, tandis que si le tube de gauche n'a, par exemple que 80 centimètres, la pression sur le fond de ce tube est de 9^m,20.

Vous comprenez bien tout cela, n'est-il pas vrai ? mais peut-être ne voyez-vous pas encore bien où je veux en venir, le voici :

Appliquons les deux tubes l'un contre l'autre par leur fond fermé (fig. 62), ou plutôt supposons que les deux n'en fassent qu'un, mais dont les deux branches sont séparées par une cloison à leur partie supérieure ; il est clair que le fait d'avoir rapproché, d'avoir soudé ensemble les deux branches du tube, ne changera rien aux pressions exercées de part et d'autre de la cloison par l'eau renfermée dans chaque branche, en sorte que la cloison supportera du côté de la petite branche une pression plus forte que du côté de la longue branche, par exemple, si nous maintenons les dimensions choisies tout à l'heure ; une pression de 9^m,20 d'eau du côté de la petite, et une pression de 9 mètres seulement du côté de la grande.

Fig. 62.



Et maintenant perçons la cloison qui sépare les deux branches : que va-t-il arriver ?

Les deux courants que la pression atmosphérique chasse dans les deux branches vont se rencontrer, celui de la petite s'efforçant de passer dans la grande, celui de la grande de passer dans la petite.

De là conflit, bataille et victoire pour le plus fort des deux adversaires, c'est-à-dire pour le courant qui vient de la petite branche. Il refoulera l'autre, le poursuivra dans la longue branche, et comme il ne le peut qu'en laissant le vide derrière lui dans la petite branche, ce vide sera immédiatement rempli par une nouvelle quantité d'eau prise dans la cuvette, en sorte qu'un courant continu s'établira de la cuvette la plus haute à la cuvette la plus basse.

Voyez-vous maintenant où je voulais en venir ? et ne vous semble-t-il pas que nous venons d'imaginer là un instrument bien commode ?

Voyez ces deux barriques : celle d'en haut est pleine ; celle d'en bas est vide (fig. 63), et il s'agit d'y transvaser le vin de la première.

Dans la barrique d'en haut je plonge jusqu'au fond la petite branche de l'appareil que nous venons de décrire et qu'il est temps que je vous nomme : — c'est un siphon ; — dans la bande de la barrique d'en bas j'introduis l'extrémité de la grande branche du siphon, et... et il n'arrive rien du tout.

Comment donc ? — Sans doute ! Nous avons bien reconnu que lorsque le siphon est plein l'écoulement s'établit et continue indéfiniment de la petite à la grande branche ; mais il faut d'abord qu'il soit plein, et le siphon que nous avons mis dans les deux barriques n'est plein que d'air.

Pour le remplir ou, comme on dit, pour l'amorcer, le moyen le plus simple est de boucher, avec le doigt, la grande branche, et d'aspirer avec la bouche l'air contenu dans le siphon, par un tube que vous voyez appliqué à la longue branche, et remontant le long de cette branche (fig. 64), de manière que celui qui aspire ne soit pas forcé de se baisser par trop.

Fig. 63.



Si l'on aspire trop fort, il peut arriver qu'une gorgée de vin suive l'air dans la bouche. Le malheur n'est pas grand, mais il montre qu'il ne faudrait pas employer ce procédé avec des liquides corrosifs, comme ceux que transvasent les chimistes.

Fig. 64.



Ils s'y prennent autrement pour amorcer leurs siphons. Pour vous, ces détails vous intéresseraient peu, et il suffit que vous sachiez que le siphon est amorcé toutes les fois que, par n'importe quel procédé, les deux branches en sont remplies.

Quelquefois elles se remplissent d'elles-mêmes, et alors le siphon s'amorce tout seul, ce qui donne lieu à certains phénomènes naturels assez curieux pour que je vous en entretienne un instant.

On trouve en plusieurs points du globe, des fontaines dont l'écoulement intermittent a longtemps inspiré une curiosité superstitieuse.

On montrait au dernier siècle, dans le parc de Fontainebleau, et peut-être l'y voit-on encore, une source, qu'on appelait la Fontaine carrée, et qui présentait les phénomènes suivants :

Pendant un demi-quart d'heure environ, le niveau s'élevait ; puis tout à coup il baissait pendant le même temps jusqu'à tarir presque la fontaine. Alors un fort gargouillement, qu'on entendait d'une assez grande distance, avertissait que le reflux allait cesser, et la fontaine recommençait à se remplir.

Fig. 65.



En Angleterre, dans le Devonshire, près de Pontarlier, en Franche-Comté, en Hanovre, aux environs de Paderborn, on montrait des fontaines

semblables.

Je ne sais si elles existent encore, en tout cas elles ont perdu beaucoup de leur intérêt depuis que l'explication du phénomène est connue de tout le monde. Elle est si simple, qu'il ne tient qu'à vous de réaliser sans frais une petite fontaine intermittente avec laquelle vous pourrez étonner vos petites amies.

Voici un vase quelconque (fig. 65), en fer-blanc ; par exemple une vieille boîte à sardines. Je perce un trou dans le fond de la boîte, et je le bouche hermétiquement par un bout de tube de caoutchouc, comme ceux qui servent pour les becs de gaz des appartements.

Puis je retourne ce tube en forme de crosse d'évêque ou de siphon, de manière que la partie supérieure de la crosse soit un peu moins haute que les bords de la boîte, et que l'extrémité de la petite branche du siphon arrive tout près du fond de la boîte.

Cela fait, j'amène dans la boîte, par un robinet ou de toute autre manière, un filet d'eau plus mince que celui qui pourrait s'écouler par le tube de caoutchouc.

Aussitôt l'eau commence à monter dans la boîte, et en même temps dans la petite branche du siphon.

Peu à peu, elle s'élève à la fois dans la boîte et dans le tube en caoutchouc jusqu'à atteindre la courbure de ce tube.

A ce moment, l'eau coule par la longue branche, et le siphon est amorcé. Mais comme ce siphon débite plus d'eau que le robinet n'en amène, ce siphon ne tarde pas à vider la boîte, et alors, l'air rentrant dans le siphon, celui-ci est désamorcé, en même temps qu'on entend le gargouillement de la source intermittente de Fontainebleau, dont la vôtre est, comme vous voyez, l'image fidèle.

Que se passait-il en effet à Fontainebleau et dans toutes les fontaines intermittentes naturelles ? Un rocher naturellement percé en siphon ouvrait la bouche de sa petite branche près du fond de la fontaine, tandis que le sommet de la cavité restait au-dessous du niveau supérieur de la fontaine, et réalisait exactement en grand ce que vous avez imité en petit avec votre tube de caoutchouc.

Dans les cabinets de physique on fait cette expérience avec un appareil qui ne diffère du vôtre que parce qu'il est plus élégant. En voici le dessin (fig. 66), qui s'explique de lui-même. On l'appelle vase de Tantale, parce que si le père de l'infortuné Pélops était debout dans ce vase, mourant de

soif et aspirant avec avidité, au moment où l'eau qui monte atteindrait ses lèvres desséchées, c'est le siphon qui se chargerait de lui infliger le châtiment qu'avait inventé pour lui la colère des dieux.

Fig. 66.



XXVIII^e ENTRETEN

AUTRES USTENSILES DOMESTIQUES

Du siphon, qui sert à transvaser les vins, à la pipette à l'aide desquels on les goûte, il semble qu'il n'y a qu'un pas, et cependant c'est, ma chère enfant, par un détour que je vais vous conduire à la pipette.

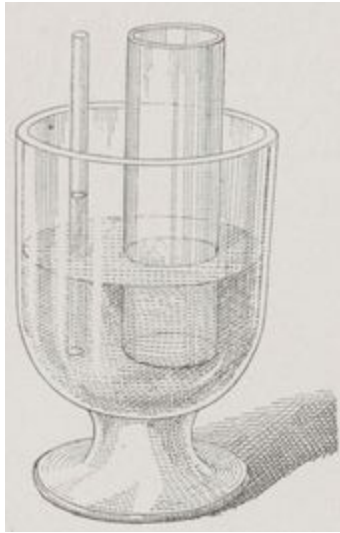
Fig. 67.



Je trempe dans du café la pointe d'un morceau de sucre (fig. 67) : vous savez, pour l'avoir vu vingt fois en prenant un canard, que le café monte de lui-même dans les pores du sucre.

J'enfonce dans un verre plein d'eau un tube de verre très étroit (fig. 68) ; le niveau de l'eau, au lieu de se tenir à la même hauteur dans le verre et dans le tube, s'élève dans le tube notablement plus haut que dans le verre, en même temps qu'elle y prend une surface courbe, creusée en forme de cuvette, et cette élévation est due à l'étroitesse du tube, car si je mets à côté un tube de grand diamètre, l'eau s'y arrête au même niveau que dans le verre.

Fig. 68.



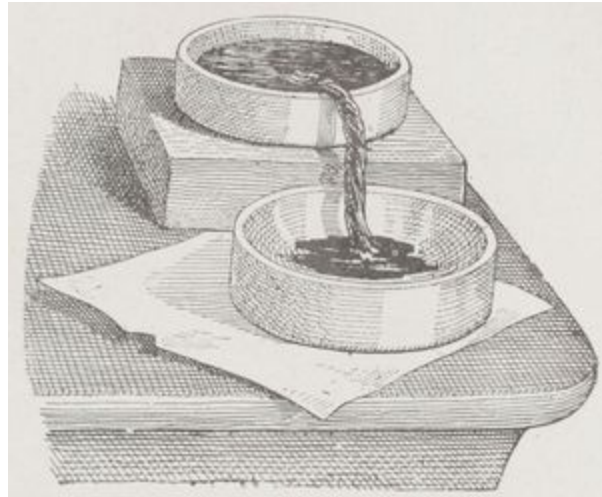
Voici un godet où je viens de faire de l'encre de Chine. Je m'aperçois qu'elle contient un grand nombre de particules solides de charbon, qui, emportées par mon pinceau, se déposeront sur mon papier, et tacheront mon lavis ; comment l'en débarrasser ?

Je mets à côté de mon godet, mais un peu au-dessous, un autre godet propre. Puis, dans le premier, je plonge une mèche de coton que je fais retomber dans le second fig. 69).

Aussitôt l'encre de Chine remonte le long de la petite branche de cette espèce de siphon, comme le café montait tout à l'heure dans le morceau de sucre, et amorce elle-même le siphon. Une fois amorcé, il continue à transvaser l'encre de Chine du godet supérieur dans le godet inférieur jusqu'à ce que le premier soit à sec et ne contienne plus que les impuretés dont nous voulions débarrasser notre encre.

Tous ces tubes, les pores du sucre, le petit tube de verre que nous avons plongé dans l'eau, enfin les imperceptibles espaces laissés entre les brins de la mèche de coton, tous ces tubes ont des diamètres comparables à l'épaisseur d'un cheveu, et ont pris de là le nom de capillaires, du mot latin capillus, cheveu, et la cause qui fait monter les liquides dans les tubes capillaires porte le nom de capillarité.

Fig. 69.



Et c'est parce que l'eau et les liquides en général, au lieu de se mettre en équilibre horizontalement dans les tubes capillaires, tendent à s'y élever et y prennent une surface courbe, que vous définissant autrefois la verticale, et vous disant qu'elle était perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles, j'ajoutai qu'il fallait encore que le liquide fût renfermé dans un bassin d'une dimension suffisamment grande. Je vous promis alors de vous dire pourquoi cette condition : voilà ma promesse remplie.

Et maintenant revenons à la pipette, que nous avons un peu perdue de vue.

Parmi les propriétés de ces tubes capillaires, il en est une que vous connaissiez longtemps avant de soupçonner seulement l'existence des tubes capillaires. Du moins vous connaissiez les phénomènes par lesquels elle se manifeste.

Avez-vous jamais vu mettre un tonneau en perce ? Il n'y a pas un marchand de vin qui, cette opération faite, ne s'empresse d'ôter la bonde du tonneau. Pourquoi ? C'est qu'il sait, pour l'avoir vérifié vingt fois, que sans cette précaution le vin ne coulerait pas par le trou qu'il vient de faire.

Fig. 70.



Connaissez-vous.... ? Non, ces ustensiles ne sont plus de votre génération. Mais j'ai vu, moi, dans mon enfance, présenter sur la table des huiliers en forme de burette (fig. 70), d'où l'huile coulait par un grand bec effilé analogue à ceux des théières, mais de diamètre beaucoup plus étroit. Et quand je dis coulait, je m'avance beaucoup, car il était rare que quelqu'un des convives n'oubliât pas d'ôter, avant de se servir de l'huilier, le bouchon qui le fermait par en haut. Et alors, il avait beau incliner l'huilier, en mettre le bec dans son assiette, l'huile ne coulait pas plus que le vin ne coule du tonneau dont a ôté le fausset.

Fig. 71.



Mais il vous est facile de renouveler volontairement cette expérience que vos grands-pères faisaient malgré eux, pour peu qu'ils fussent distraits.

Retournez, le goulot en bas, deux bouteilles pleines (fig. 71), l'une ouverte, l'autre fermée par un bouchon que traverse un fin tuyau de plume.

La première se videra ; l'autre restera pleine, tout comme si le bouchon n'était pas traversé par un tube.

Mais, en même temps qu'elle se videra, la première fera entendre ces glougloux que chante Sganarelle :

Qu'ils sont doux,
Bouteille jolie,
Qu'ils sont doux
Vos petits glougloux.

.....

Ah ! bouteille, ma mie,
Pourquoi vous videz-vous ?

Pourquoi ? Et précisément, ma chère enfant, parce qu'elle fait entendre ces jolis glougloux, parce que le goulot est assez large pour laisser place à deux courants, l'un descendant, courant d'eau ; — ou de vin quand c'est Sganarelle qui fait l'expérience ; — l'autre montant, le courant d'air qui va remplir le vide laissé par le liquide, et dont chaque bulle fait glouglou en la traversant.

Dans l'autre bouteille, au contraire, le tuyau de plume, qui est capillaire, ne peut livrer passage à la fois et en sens contraire aux deux courants d'air et de liquide. C'est là la propriété des tubes capillaires que je vous ai annoncée, et par suite l'air ne pouvant remplacer le vide laissé par les premières gouttes de liquide que laisse échapper le tuyau de plume, l'écoulement ne peut avoir lieu.

Voilà pourquoi l'huile ne coulait pas de l'huilier-burette, et pourquoi il faut ôter la bande du tonneau quand on vient en tirer le vin.

Vous rappelez-vous la jolie expérience du verre d'eau renversé et qui ne se vidait pas, grâce à une feuille de papier appliquée dessus ? Quel était là dedans le rôle du papier ? vous devez maintenant pouvoir le dire. Assurément la pression atmosphérique s'exerçait sur l'eau du verre sans le papier aussi bien qu'avec lui ; mais, sans le papier, quand on renverserait le

verre, comme il n'est pas capillaire, l'eau tomberait aussitôt et serait remplacée par l'air. Avec le papier, au contraire, les communications du verre avec l'atmosphère n'ont lieu que par la fente capillaire que le papier laisse entre lui et le verre ; le double courant ne peut pas s'établir, et l'eau reste dans le verre, supportée par la pression atmosphérique.

En résumé, deux courants, l'un liquide, l'autre gazeux, ne pouvant se croiser dans les tubes capillaires, tout vase plein et qui n'a, pour se vider, qu'un orifice capillaire, ne se vide pas.

C'est cette propriété qui a été utilisée dans la pipette.

Un tube de fer-blanc, ou de verre (ceux des marchands de vin sont en fer-blanc, ceux des chimistes en verre), terminé en haut par un petit plateau percé d'un trou qu'on peut boucher avec le pouce, en bas par une pointe capillaire, telle est la pipette.

Quand on la plonge, le pouce levé, dans une barrique, par le trou de la bonde, la pipette se remplit de vin. On ferme alors le trou supérieur avec le pouce, et on emporte la pipette, qui ne peut se vider à cause de la capillarité du trou inférieur. Il suffit alors de lever le pouce (fig. 72), la pipette étant au-dessus d'un verre, pour y faire couler le vin pris au tonneau.

Fig. 72.



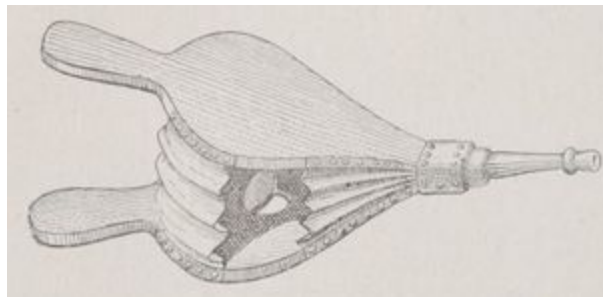
Des pompes dont nous venons de voir toutes les variétés, au soufflet de cheminée, il semble qu'il y ait autant de distance que de l'eau au feu ; vous allez voir cependant que ces deux extrêmes, se touchent, car c'est du soufflet que nous allons maintenant nous occuper.

Ce n'est pas que le soufflet ne soit, lui aussi, comme cet huilier à bec dont je vous parlais tout à l'heure, un ustensile quelque peu démodé depuis qu'on trouve partout des cheminées à rideaux. Mais il y a un soufflet qui, lui, n'est pas démodé ni près de l'être, et dont le mécanisme est si analogue

à celui du soufflet de la cheminée, qu'il est utile de vous expliquer celui-ci ayant de vous parler de l'autre.

Vous le décrire, ce n'est pas nécessaire, n'est-ce pas, mon enfant ? Vous connaissez les deux planches munies chacune d'un manche et reliées ensemble par un cuir flexible, qui, avec les deux planches, fait du soufflet (fig. 73) une boîte qu'on agrandit quand on écarte les deux planchettes et dont on diminue le volume quand on les rapproche. Deux ouvertures font communiquer cette boîte avec l'intérieur. L'une, vous la voyez munie d'un tuyau de cuivre qu'on appelle la tuyère du soufflet. Pour vous permettre de voir l'autre, le soufflet reposant sur la planche de dessous, j'ai donné deux coups de ciseaux dans le cuir, et par le trou ainsi pratiqué vous apercevez cette ouverture, et pouvez reconnaître qu'elle est munie d'une soupape en cuir ouvrant de dehors en dedans.

Fig. 73.



Et maintenant, expliquer le mécanisme d'un pareil instrument ne doit être qu'un jeu pour une physicienne de votre force.

Prenez en effet les manches du soufflet dans les deux mains en les tenant aussi rapprochées que possible ; il est clair que dans la boîte du soufflet, qui communique librement avec l'atmosphère par la tuyère, l'air est précisément à la pression atmosphérique.

Ouvrez maintenant le soufflet : puisque vous agrandissez la boîte où l'air est renfermé, cet air, de par l'abbé Mariotte, prend une tension plus faible, dont l'air extérieur qui garde, lui, sa pression, profite aussitôt pour se précipiter dans le soufflet, tant par la tuyère que par la soupape qu'il ouvre.

Quand vous rapprocherez de nouveau les planchettes et rapetisserez l'espace où cet air est contenu, sa tension augmentant, il faudra qu'il sorte, et, trouvant fermée la grande porte par où il est entré, puisque la soupape ouvre de dehors en dedans, qu'il prenne la petite, c'est-à-dire la tuyère.

C'est ce qu'il fait en effet, et d'autant plus vite qu'il faut que, par cet étroit corridor s'écoule dans le temps que vous mettez à fermer le soufflet, tout l'air qui était entré en se prélassant par les grandes entrées, dans le temps que vous aviez mis à l'ouvrir.

Cette vitesse est indispensable pour que le soufflet puisse envoyer en peu de temps une grande quantité d'air sur des charbons prêts à s'éteindre, et c'est pour cela qu'il a fallu y pratiquer deux ouvertures, l'une grande, pour que l'air puisse entrer facilement, l'autre petite, pour qu'il n'en puisse sortir que vite.

Si cette condition de vitesse n'était pas nécessaire, une seule ouverture de grandeur moyenne aurait suffi, car il est évident que n'y eut-il qu'une porte, l'air entrerait par cette porte quand vous ouvririez le soufflet, et ressortirait par le même chemin quand vous le refermeriez.

Voici, par exemple, une espèce de carafe, dont j'ai remplacé le fond par une membrane élastique, une sorte de diaphragme en gutta-percha, auquel j'ai ajusté un manche analogue à ceux des soufflets.

Une certaine quantité d'air est enfermée dans la carafe, et si vous poussez le manche de manière à élever le diaphragme (fig. 74) et, par suite, diminuez la capacité de la carafe, tout l'air dont le diaphragme est venu prendre la place, sortira par le goulot. Si vous le tirez de haut en bas (fig. 75), de manière à laisser reprendre à la membrane élastique sa première position, l'air rentrera, et en renouvelant successivement ces mouvements de va-et-vient de bas en haut et de haut en bas, vous aurez réalisé le soufflet à un seul orifice dont je parlais tout à l'heure. Vous aurez réalisé bien autre chose encore : devinez-vous quoi ?

N° 1
Fig. 74.



N° 2
Fig. 75.



Si vous avez, ma chère enfant, lu l'Histoire d'une bouchée de pain, vous l'avez déjà deviné. Si vous ne l'avez pas lue, il faut la lire, et la lettre XIX, intitulée : « Le jeu de poumons », vous apprendra que ma carafe-soufflet représente approximativement — préparez-vous à entendre un mot terrible — représente la cavité thoracique. Mon diaphragme de gutta-percha, c'est le diaphragme en chair... (j'ai failli dire et en os, mais je retire le mot), c'est le muscle dont les contractions et les dilatations vous font vivre, en vous faisant respirer, et préside tour à tour à vos chagrins en causant vos sanglots et à vos joies, en produisant vos éclats de rire. L'enveloppe, la paroi de la carafe, c'est l'enveloppe de votre poitrine dont les côtes sont la charpente. Mais la carafe ne joue pas aussi bien son rôle que le diaphragme de gutta-percha ; car les côtes n'ont pas la rigidité du verre de la carafe. Elles prennent part, elles aussi, aux mouvements qui agrandissent et rapetissent tour à tour le soufflet, et c'est pour cela que j'ai dit tout à l'heure que ma carafe-soufflet ne représente qu'approximativement la cavité thoracique.

En un mot, mon petit appareil, c'est ce soufflet qui n'est ni démodé ni prêt à l'être, que chacun de nous porte dans sa poitrine, et dont les battements commencent au premier instant de la vie pour ne finir qu'à la mort.

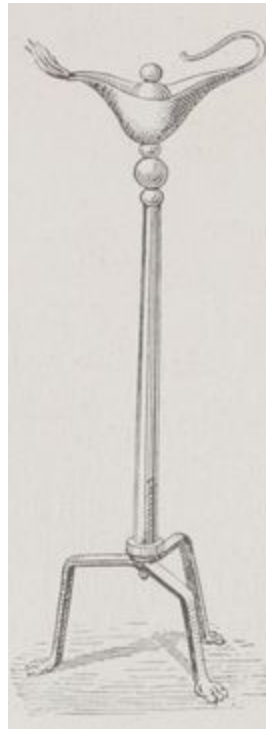
Mais je ne veux pas m'embarquer dans des explications qui nous mèneraient hors de notre sujet, et j'y reviens en justifiant à vos yeux une comparaison que j'ai faite tout à l'heure, et qui m'a paru vous faire dresser l'oreille. J'ai dit que, des pompes au soufflet, il n'y avait pas aussi loin que

vous pourriez le croire, et maintenant je vais être bien plus affirmatif en vous disant : Le soufflet, c'est une pompe.

Une pompe médiocre, j'en conviens, mais enfin une pompe. Ai-je vraiment besoin de vous le prouver ? Il manque bien, dans la tuyère, une seconde soupape, qui, ouvrant de dedans en dehors, ferait du soufflet une pompe aspirante parfaite. Mais comme il importe assez peu à celui qui souffle son feu que l'air qu'il emmagasine dans son soufflet entre par la soupape de la planchette ou par la tuyère, la soupape de la tuyère a pu être supprimée sans inconvénient.

Je crois que je puis, moi aussi, sans inconvénient, passer à un autre ustensile de ménage où vous allez trouver encore l'application des principes que nous avons étudiés ensemble. Je veux parler de la lampe.

Fig. 76.



Et, quand je dis la lampe, c'est les lampes que je devrais dire, car il y en a de plusieurs espèces, sur lesquelles deux au moins méritent que nous nous y arrêtions un instant.

La première ne demande aucun mécanisme. Un réservoir d'huile où plonge la mèche constitue toute la lampe ; dans la mèche, l'huile s'élève

comme le café dans le morceau de sucre, c'est-à-dire uniquement grâce à la capillarité.

C'est la seule lampe qu'aient connue les Romains (fig. 76). Ils lui donnaient une forme plus ou moins décorative, plus ou moins artistique ; malheureusement, il ne dépendait pas d'eux de rendre leur lampe plus ou moins éclairante, car l'huile ne montant dans la mèche que par capillarité, et la mèche elle-même ne recevant d'autre air que celui de l'atmosphère, la combustion de l'huile se faisait mal ; une fumée noire et souvent infecte s'en dégageait ; des champignons montraient à travers la flamme leur silhouette noirâtre, et c'était, dit Virgile, un mauvais présage, « quand on voyait la flamme vaciller, et de noirs champignons en ternir l'éclat ».

Ce n'est plus aujourd'hui, ma chère enfant, un mauvais présage ; mais cela continue à présager que la lampe va éclairer fort mal.

Heureusement cet inconvénient est aujourd'hui moins grave qu'au temps des Romains, car la lampe qui éclaira de sa fumeuse lueur les poétiques veilles d'Horace et les somptueux festins de Lucullus, s'est réfugiée aujourd'hui, sous le nom de Calel (fig. 77), dans les cuisines de quelques pauvres paysans du Midi, d'où même (quoique le poète toulousain Goudouli lui ait fait l'honneur de la comparer au soleil⁶), elle ne tardera pas à être entièrement chassée par les lampes à pétrole.

C'est pour cela que j'ai voulu, ma chère enfant, pendant qu'il en existe encore, vous montrer ce vieux spécimen de l'éclairage primitif de nos pères, d'autant plus que, chassé par le progrès moderne des cuisines des paysans méridinaux, on commence à le trouver, à titre d'antiquité, dans quelques salons parisiens.

Cette lampe éclairait mal ; elle était sale ; le godet placé sous le récipient à l'huile était toujours mouillé d'une boue grasse, noire et épaisse ; il sentait mauvais, et pourtant tout cela ne différait que par l'extérieur de la lampe des consuls et des empereurs romains.

Celle qui l'a remplacée, non chez les empereurs et les consuls, mais dans beaucoup de maisons bourgeoises, et notamment dans toute l'Allemagne, la lampe à pétrole, repose sur le même principe que la lampe romaine, c'est-à-dire que l'huile ne monte à la mèche que par capillarité (fig. 78). Mais, outre que cette huile est beaucoup plus combustible, une cheminée en verre, en dirigeant sur la mèche un courant d'air énergique et régulier, met du moins ceux qu'éclaire la lampe à pétrole à l'abri des mauvais présages des champignons.

Fig. 77.



Sans y insister davantage, nous allons, si vous le voulez bien, passer à la lampe la plus usitée en France, à la lampe à modérateur.

Je ne vous en décrirai pas l'extérieur, qu'assurément vous connaissez aussi bien que moi.

Pour l'intérieur, c'est autre chose, et je parierais volontiers que sur cent personnes qui font jouer tous les jours ce mécanisme si simple, il n'y en a pas deux qui aient eu la curiosité d'éventrer une vieille lampe et de voir, comme font les enfants pour leurs joujoux, « ce qu'il y a dedans ».

Fig. 78.



Éventrons-en donc une, et faisons ensemble l'inventaire de ce qui s'y trouve.

Voici d'abord un piston qui glisse dans un cylindre, absolument comme celui des pompes.

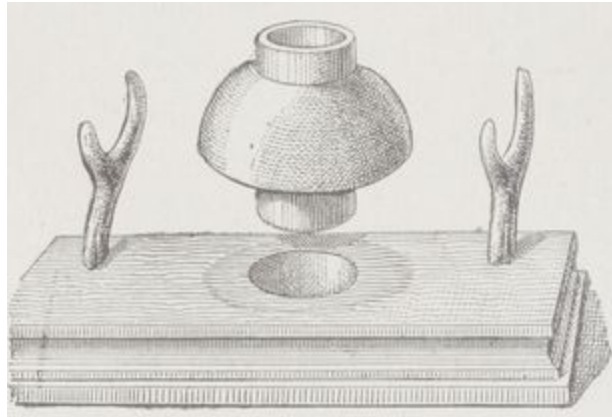
Et quand je dis absolument, je me trompe, car il faut que, sans soupape, ce piston puisse laisser descendre au-dessous de lui, quand on montera la lampe, l'huile qu'on aura versée dessus en la garnissant, et cependant puisse presser sur cette huile pour l'envoyer à la mèche, sans la laisser se glisser entre ses parois et celles de la lampe.

Voilà un problème qui ne semble pas commode à résoudre : faire que le même piston, en descendant bouche hermétiquement son corps de pompe, et ne le bouche pas en montant !

On l'a résolu cependant, et comme le procédé employé pour cela ne sert pas seulement pour les lampes, et que vous entendrez souvent parler, dans votre vie, de cuir embouti, vous me permettrez, ma chère enfant, de faire une petite digression pour vous montrer ce que c'est.

Vous n'êtes pas sans avoir à votre disposition un de ces encriers, où l'encrier proprement dit, la fiole à l'encre (fig. 79), entre dans un trou pratiqué à cet effet dans une planchette de bois.

Fig. 79.



Eh bien, sur ce trou, étendez une feuille de papier, puis coiffez-la de l'encrier, de manière à la forcer à entrer dans le trou. Elle en prendra naturellement la forme, ou plutôt elle l'a prise, car je pense bien que vous avez fait l'opération, à mesure que je la décrivais. Et alors, savez-vous ce que vous avez obtenu ? — Vous avez obtenu une feuille de papier embouti.

Mal embouti, toutefois, parce que le papier n'étant ni très résistant, ni très extensible, il a fallu, pour qu'il prît la forme du trou où vous l'avez forcé de se mouler, qu'il vînt se froncer en un certain nombre de plis.

Il n'en est pas de même du cuir. Très résistant et très extensible, il prend facilement toutes les formes qu'il plaît à l'emboutisseur de lui donner.

Rien de plus aisé, par exemple, que de lui donner la forme d'une écuelle (fig. 80).

Serrez maintenant le dedans et le dehors de cette écuelle entre deux plaques de métal (fig. 81), qui lui donneront la rigidité nécessaire, et faites-les monter et descendre dans un corps de pompe. Vous voyez bien qu'en montant, les bords de l'écuelle vont céder à la pression des parois, et, s'il y a de l'huile au-dessus de ce piston, la laisser couler entre le piston et le corps de pompe, tandis qu'en descendant, les bords de l'écuelle seront appliqués contre les parois par le liquide placé au-dessous.

Fig. 80.

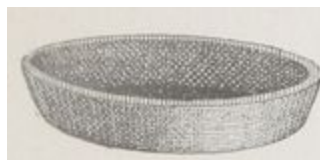
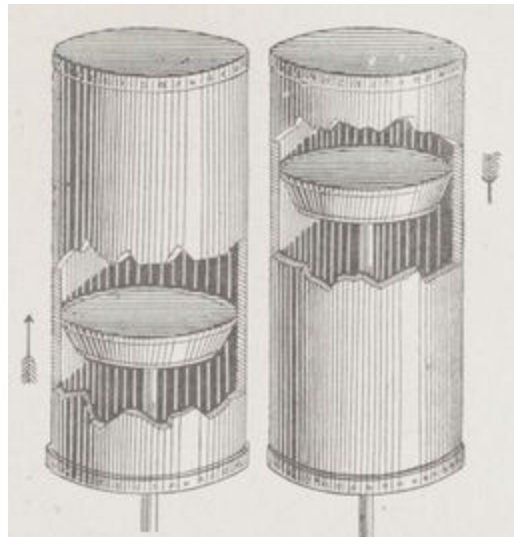


Fig. 81.



Voilà donc un premier point acquis : Le piston de la lampe étant au bas du cylindre, vous garnissez la lampe en versant l'huile sur le piston. Si vous trouvez ensuite un moyen de faire monter ce piston, l'huile coulera entre le piston et le corps de la lampe, et ira se mettre au-dessous du piston.

Ce moyen est des plus simples, et, sans vous y attarder plus que de raison (car je n'ai pas l'intention de vous mettre au point de devenir lampiste), je vous dirai que ce piston est tiré par une crémaillère que fait mouvoir un pignon.

Crémaillère et pignon sont visibles dans toutes les lampes en soulevant la galerie, et vous n'avez qu'à vous en faire montrer une pour comprendre immédiatement ce mécanisme.

En même temps que le piston monte, il comprime un ressort, qui, se détendant, quand le piston est au haut de sa course, tend à la faire descendre.

Je dis tend, car nous avons vu que le piston, en descendant, remplit hermétiquement le corps de la lampe, si bien que l'huile qui est dessous, et est incompressible, comme tous les liquides, ne le laisserait pas descendre, si une issue n'avait été ménagée à l'huile.

Cette issue, c'est un tube qui traverse de part en part le piston et aboutit précisément à la mèche, si bien que l'ascension de l'huile, qui, dans les lampes des Romains et dans les lampes à pétrole, n'est due qu'à la capillarité, est, dans la lampe à modérateur, produite par la pression du piston.

La lampe à modérateur est donc une véritable pompe foulante. Mais pourquoi s'appelle-t-elle lampe à modérateur ?

Puisque nous avons tant fait que de nous embarquer dans la description un peu compliquée de cette lampe, vous m'accorderez bien, ma chère enfant, un petit supplément d'attention, et dans cinq minutes, au plus, nous aurons fini.

Vous devinez que si l'huile arrivait à la mèche tantôt vite, tantôt lentement, tantôt à flots, tantôt goutte à goutte, la lumière de la lampe n'aurait aucune régularité. Tantôt la mèche charbonnerait, faute d'huile, tantôt elle s'éteindrait, noyée par le liquide.

Or tout le monde sait qu'un ressort a plus de force au moment où il se détend, que lorsqu'il est déjà aux trois quarts détendu. Quand donc le piston, élevé au plus haut de sa course, commence à descendre, poussé par le ressort, il lance l'huile avec plus d'énergie que lorsque, arrivé presque au bas de la lampe, il n'est plus actionné que par un ressort qui a perdu presque toute sa force en se détendant.

C'est là qu'intervient le modérateur.

C'est tout simplement une tige de fer un peu plus grosse en haut qu'en bas, assez semblable à une aiguille à tricoter, et qui bouche en partie le tuyau d'ascension de l'huile.

Quand le piston est en haut, c'est la partie supérieure du modérateur qui bouche le tube ; quand il est en bas, c'est la partie inférieure, et, comme celle-ci est plus petite, elle le bouche plus incomplètement et compense ainsi pour le liquide, en lui laissant plus de place pour monter, le manque de force du ressort chargé de l'élever.

Le petit appareil mérite donc bien son nom de modérateur.

Mais je m'aperçois que moi-même j'aurais besoin d'un modérateur : car, parti avec vous pour une petite excursion à travers les ustensiles de ménage, je m'y suis tellement attardé, que j'ai l'air de vouloir faire concurrence à la Cuisinière bourgeoise.

Excusez-moi, ma chère enfant, et ne me refusez pas votre attention pour les sujets entièrement nouveaux que nous allons maintenant aborder ensemble.

XXIX^e ENTRETIEN

LE THERMOMÈTRE

Deux enfants, que je regardais hier patiner sur le lac du bois de Boulogne, m'ont pris pour juge d'un singulier différend.

L'un était un jeune Russe, l'autre un petit Espagnol, qui, n'ayant jamais patiné de sa vie, faisait force chutes, malgré les leçons de son camarade.

« N'est-ce pas, monsieur, me dit le petit Russe, qu'il ne fait pas. froid, aujourd'hui ? Voilà mon camarade, ce petit Espagnol, qui me soutient qu'il fait froid. Dites-lui donc, monsieur, que c'est moi qui ai raison.

— Eh ! mes enfants, vous avez raison tous les deux. Vous avez raison, vous, parce que vous comparez la température à celle, beaucoup plus rigoureuse, à laquelle vous êtes habitué en Russie, et votre petit camarade a raison, car cette même température est beaucoup plus basse que celle qui règne d'ordinaire dans l'Espagne, son pays. »

Voilà, ma chère enfant, le jugement de Salomon que je rendis entre mes deux gamins.

En m'en retournant, je songeais à leur plaisante querelle, et à la difficulté que j'aurais eue à expliquer à ma chère écolière ces questions de chaud et de froid, sur lesquelles deux avis opposés peuvent être également bons à la fois, si les physiiciens n'avaient imaginé un moyen de mesurer le chaud et le froid.

Et d'abord, que je vous dise tout de suite que mesurer le chaud et mesurer le froid, ce n'est pas faire deux mesures distinctes. Le froid n'est rien, en effet, que le manque de chaleur. Quand vous vous mesurez pour savoir combien vous êtes grande, n'est-il pas vrai que, du même coup, vous mesurez combien vous êtes petite ? De même, mesurer le chaud et mesurer le froid, c'est la même chose.

Et ma comparaison est bien juste, car, de même que le Russe et l'Espagnol trouvaient à la fois, l'un qu'il faisait chaud, l'autre qu'il faisait froid, parce que leurs termes de comparaison étaient différents, de même votre grand frère le bachelier vous trouve petite, et votre petite sœur, quand

vous lui apprenez à connaître ses lettres, vous regardez comme une fort grande personne.

Nous voilà donc débarrassés de cette première question : Qu'est-ce que le froid ? puisque nous savons que ce n'est autre chose que le manque de chaleur.

Mais la chaleur elle-même, qu'est-ce ?

Ma foi, ma chère enfant, je serais fort en peine de vous le dire. Quand je vous répéterais bien en effet la définition que m'a enseignée jadis mon vieux professeur de physique :

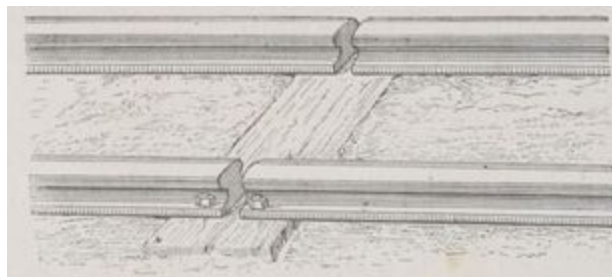
« Le calorique est l'agent qui fait naître en nous la sensation de la chaleur, »

En seriez-vous plus avancée ? Assurément non. Nous disons : Il fait chaud, et nous nous entendons fort bien vous et moi. Tenons-nous-en donc là, puisque les plus belles définitions du monde ne parviendraient pas à nous rendre cette idée plus claire.

Mais si nous renonçons à définir la chaleur, nous ne renonçons pas à la mesurer ; car, pour la mesurer, il suffit d'utiliser une propriété de la chaleur que je vais vous faire connaître, si vous voulez seulement faire en ma compagnie une petite promenade :

Traversons le passage à niveau du chemin de fer, et, puisque aucun train n'est signalé, arrêtons-nous-y un instant pour voir comment les ingénieurs ont placé les rails les uns au bout des autres.

Fig. 82.



Tiens ! ils ne se touchent pas (fig. 82) ! Pourquoi a-t-on laissé entre deux rails consécutifs ce petit intervalle ?

— Ma chère enfant, je vous répondrai tout à l'heure ; mais j'aperçois de l'autre côté du passage un charbon qui commence un travail, et je tiens à vous le montrer. Les rails ne s'en iront pas, et nous aurons toujours le temps de les examiner ; allons voir le charbon.

L'opération qu'il commence, c'est le cerclage d'une roue. Le cercle de fer est là, tout prêt. Tenez, voilà qu'il l'essaye, pour reconnaître s'il a la grandeur voulue.

Non, il ne l'a pas. Le cercle est trop petit ; la roue n'y entre pas. Est-ce que le charron aurait mal pris ses mesures ?

Rassurez-vous, mon enfant, vous allez bientôt voir qu'il ne s'est pas trompé.

Et tenez, voici qu'il chauffe son cercle. Il est presque rouge. Il le retire du feu ; il l'essaye de nouveau sur la roue. Ah ! ce cercle, qui tout à l'heure était trop petit, emboîte maintenant la roue à merveille. Il suffit de quelques coups de marteau pour l'y faire entrer. L'y voilà. Qu'est-il donc arrivé ?

III

EST-CE QUE LE CHARRON AURAIT MAL PRIS SES MESURES.

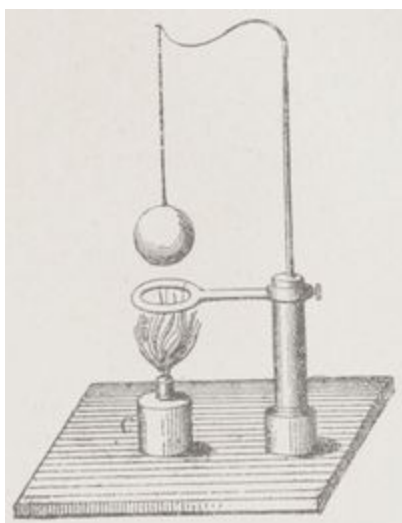


Ma chère enfant, il est arrivé ce qui arrive chaque fois qu'on chauffe un corps : ce corps s'agrandit, se dilate, c'est le mot consacré, pour revenir quand il se refroidit, à ses premières dimensions, en se raccourcissant, en se contractant : c'est encore le mot consacré.

Tous les corps jouissent de cette propriété, et, si vous entriez dans le premier cabinet de physique venu, on vous y montrerait un anneau de fer dans lequel passe juste une boule du même métal quand elle est froide, et à travers lequel elle ne peut plus passer aussitôt qu'on l'a chauffée (fig. 83).

Mais qu'avez-vous besoin des boules et des anneaux des physiciens ? notre ami le charron vient de nous faire assister à la même expérience. Et, voyez, pendant que nous causons des cabinets de physique, le cercle s'est refroidi, et, en se contractant, s'est si bien appliqué sur la roue, l'a serrée d'une telle étreinte, qu'il ne serait pas facile maintenant de l'en arracher.

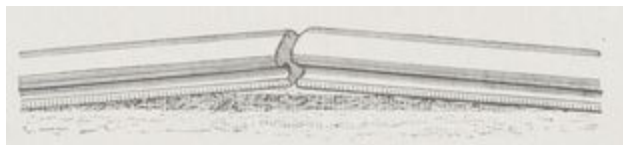
Fig. 83.



Et maintenant que vous avez constaté la dilatation des corps par la chaleur, vous comprendrez aisément pourquoi ces rails, sur lesquels nous allons repasser, en nous en retournant, ne se touchent pas.

S'ils se touchaient en hiver, quand viendraient les chaleurs de l'été, ils ne pourraient se dilater à leur aise. Alors, se poussant les uns les autres (fig. 84), ils s'arc-bouteraient ou se mettraient en zigzag, au grand dommage des trains qu'ils feraient dérailler.

Fig. 84.



Je devine bien l'objection que vous êtes tentée de me faire : quelque envie, pensez-vous, qu'eussent les rails de se dilater, ils seraient bien forcés d'y renoncer, puisque chacun en serait empêché par ses deux voisins ?

C'est ce qui vous trompe, ma chère enfant, et il me reste à vous apprendre que les forces de la nature ne se laissent pas vaincre aisément. Le

plus prudent est de faire devant elle comme le roseau devant l'aquilon.

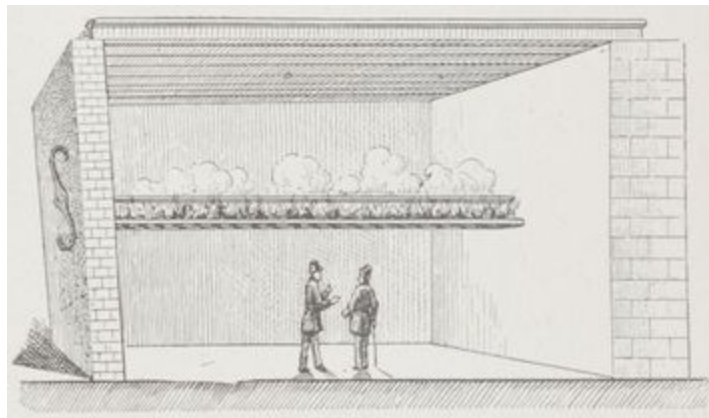
« Je plie et ne romps pas », disait-il. Le plus souvent, ce qui refuse de plier devant les forces de la nature est brisé.

Je vous en donnerai plus d'une preuve. En voici tout de suite une qui ne nous éloigne pas de notre sujet.

Il y avait, au Conservatoire des arts et métiers, un vieux mur qui s'inclinait peu à peu au point de faire craindre une chute prochaine. Les maçons parlaient déjà de le démolir. Mais cette maison-là est pleine d'ingénieurs très ferrés sur la dilatation des corps, et pleins de confiance dans l'énergie des forces de la nature.

Cette confiance ne fut pas trompée : ils relièrent par des tringles de fer le mur malade à un mur sain et très solide, qui heureusement se trouvait en face (fig. 85).

Fig. 85.



Puis, ils chauffèrent les tringles, et, à mesure qu'elles s'allongeaient, ils avaient soin de serrer, avec une clef, les boulons qui retenaient les barres de fer, derrière chacun des deux murs.

Quand, ensuite, les tringles se refroidirent, elles se contractèrent, et, comme elles étaient invariablement fixées aux deux murs, on vit le moins solide obéir à la traction qu'elles exerçaient sur lui, et se redresser sans le secours des maçons.

Vous voilà, ma chère enfant, presque aussi ferrée que les ingénieurs du Conservatoire sur la dilatation des corps. Vous allez voir que les excursions qu'elle nous a fait faire, en apparence hors de notre sujet, en réalité nous y ramènent.

Puisque en effet les corps se dilatent par la chaleur, c'était une idée bien naturelle de faire servir leur dilatation à la mesure de la température.

Il fallait évidemment choisir un corps dont la dilation fût considérable, sans quoi il eût fallu, pour la rendre apparente, une élévation de température considérable aussi, et on n'aurait pas eu un appareil sensible.

Par diverses raisons dont je vous épargne l'énumération, c'est le mercure qu'on a choisi.

Naturellement, puisque le mercure est liquide, il faut l'enfermer dans un tube, et pour que, lorsque nous le chaufferons, il ne puisse pas, en se dilatant dans tous les sens, n'avoir, dans chaque direction qu'une dilatation inappréciable, il faut le forcer à se dilater tout en longueur, et par conséquent choisir un tube capillaire.

Vous n'avez qu'à prendre un thermomètre tout fait (c'est le nom qu'on donne aux appareils destinés à mesurer les températures), à le plonger successivement dans un vase plein d'eau froide et dans un vase plein d'eau chaude, et vous verrez avec quelle rapidité le mercure montera le long du tube (fig. 86).

Mais à quoi servirait cette ascension, si l'appareil n'était composé que d'un tube capillaire terminé par une boule et rempli de mercure ? Vous permettrait-elle de mesurer les températures ?

Pas plus que la course d'un cheval galopant sur une route ne permettrait d'en mesurer la longueur, si la route n'avait été au préalable plantée de bornes kilométriques.

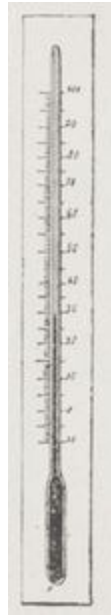
Il s'agit donc maintenant de jalonner, le long du tube, le chemin parcouru par le mercure ; c'est ce qu'on appelle graduer les thermomètres.

Et d'abord, quel point de départ choisirons-nous ?

Les Romains avaient, dit-on, planté au pied du Capitole une borne en or. C'est de cette borne que partaient toutes les routes de l'empire. Ils l'appelaient le milliaire d'or.

Le milliaire d'or du thermomètre, c'est le point où s'arrête le mercure dans le tube, quand on plonge la boule dans un vase rempli de glace en train de fondre.

Fig. 86.



A ce point on a fait une coche sur la planchette qui porte le tube, et, en regard, on a écrit : « zéro ».

Je vous ai regardée, pendant que je prononçais ces dernières paroles, et, sans me croire sorcier, je vais, mot pour mot, vous dire ce que vous pensiez. Voyons si je sais bien lire dans vos yeux.

D'abord quand j'ai parlé du point — au singulier — où s'arrête le tube quand la boule est plongée dans la glace fondante, vous vous êtes dit : Voilà un point bien vague, car il y a bien des manières de faire fondre la glace : elle fond d'elle-même dans le ruisseau de la rue, et, par les jours de dégel, il fait encore très froid. Elle fond dans l'assiette où on la pose auprès du poêle rougi, et auprès de l'assiette il fait si chaud, qu'on a peine à s'y tenir. Enfin on pourrait, pour la faire fondre, en remplir un chaudron et suspendre au-dessus du feu le chaudron à la crémaillère. Prétendriez-vous que le mercure d'un thermomètre successivement plongé dans le ruisseau de la rue, dans l'assiette auprès du poêle rouge, et dans le chaudron sur le feu, s'arrêterait les trois fois au même point ?

— Oui, mademoiselle, et c'est une expérience que vous pourrez aisément faire l'hiver prochain.

La glace du ruisseau fondra plus lentement que celle de l'assiette, et celle de l'assiette plus lentement que celle du chaudron. Mais dans le ruisseau, dans l'assiette ou dans le chaudron, tant que toute la glace ne sera pas fondue, le mercure restera stationnaire au même point, sans s'inquiéter si la

source de chaleur qui la fait fondre est plus forte ou plus faible. C'est même pour cela, parce que l'on peut toujours se procurer facilement de la glace, et, en la faisant fondre, reproduire en tout temps et en tout lieu le même phénomène, qu'on l'a choisi pour planter, au point précis où il se produit, c'est-à-dire au point où s'arrête le mercure quand la boule est plongée dans la glace fondante, le milliaire d'or du thermomètre.

Mais pourquoi (c'est là la seconde question que j'ai lue dans vos yeux), pourquoi, en regard de ce point, inscrire zéro ?

Je pourrais d'abord vous répondre : Pourquoi y inscrire tout autre chiffre ? mais vous trouveriez la réponse insuffisante.

J'aime mieux vous dire que puisqu'on choisissait pour point de départ de la graduation thermométrique le point où s'arrête le mercure quand le bout plonge dans la glace fondante, il était bien naturel d'appeler ce point zéro.

C'est aussi zéro que portait le milliaire d'or d'où partaient toutes les routes de la République romaine, et c'est zéro que porte aujourd'hui, dans chaque ville, la borne kilométrique d'où partent les routes qui s'éloignent de cette ville.

C'est si simple, que je n'y aurais pas insisté, si le mot zéro, gravé sur la planchette du mesureur de la chaleur, ne faisait croire à bien des gens ignorants qu'il indique qu'en ce point il n'y a pas du tout de chaleur.

C'est un non-sens, ma chère enfant, qui, j'en suis certain, ne vous est même pas venu à l'esprit. Vous avez bien compris que pas du tout de chaleur ne veut rien dire : que la température de la fusion de la glace n'a été choisie pour point de départ de l'échelle thermométrique qu'à cause de sa commodité ; qu'on y a inscrit zéro, comme on l'inscrit à tous les points de départ ; mais qu'on aurait pu y inscrire tout autre chiffre. Et la preuve, c'est qu'en Angleterre, en Prusse, et en général chez les peuples du Nord, ce n'est pas zéro qu'on y écrit.

Je vous dirai bientôt quoi et pourquoi. Mais auparavant il faut vous apprendre comment on a achevé de jalonner la route sur laquelle se promène le mercure. Car il ne suffit pas d'avoir posé le milliaire d'or ; il faut après, placer les autres milles.

Les autres milles ! Ce mot est évidemment mis là par figure, et même la figure n'est pas trop juste.

Nous trouverons tout à l'heure une comparaison plus exacte. Mais en attendant, laissez-moi vous apprendre tout de suite que, la boule étant plongée dans l'eau bouillante, le mercure s'arrête toujours vis-à-vis le

même point du tube. Ce point n'est pas, naturellement, le même que celui où s'arrêtait le mercure quand la boule était plongée dans la glace fondante, mais le phénomène est identique.

Oui, que le feu qui fait bouillir l'eau soit plus ou moins ardent, peu importe ; pourvu qu'elle bouille, je veux dire pourvu que la vapeur s'en échappe en soulevant ces grosses bulles qu'on appelle précisément des bouillons, le mercure ne bouge plus.

J'aurai pourtant, ma chère enfant, à faire plus tard sur ce dernier point une petite réserve. Mais nous ne pouvons tout dire à la fois. C'est déjà bien beau d'avoir trouvé deux points : celui où s'arrête le mercure, quand la glace fond, et celui où il se fixe quand l'eau bout, pour y appuyer les deux extrémités de notre échelle.

Nous avons appelé le premier zéro : donnons un nom au second. Voulez-vous que nous l'appelions le point 100 ? aimez-vous mieux 80 ? ou auriez-vous une préférence pour tout autre nombre ? Vous n'avez qu'à parler, car vous allez voir que le nombre est indifférent, et que nous pouvons choisir.

Mais nous ferons bien de remettre ce choix au prochain entretien, car, après avoir choisi, il nous restera encore beaucoup à dire sur le thermomètre, et cet entretien est déjà long.

XXX^e ENTRETEN

LES ÉCHELLES DU THERMOMÈTRE

En nous séparant hier, ma chère enfant, nous avons laissé l'échelle de notre thermomètre le pied posé au point où la glace fond, point que nous avons depuis longtemps appelé zéro, et la tête appuyée au point où s'arrête le mercure quand l'eau bout.

Nous n'avions pas encore donné de numéro à ce dernier point. Ce qui revient à dire que nous étions incertains du nombre d'échelons que nous donnerions à notre échelle ; car il est clair que si l'on donne, par exemple, 100 marches, ou 100 degrés à un escalier qui part du point 0, il est naturel d'appeler 100 le point d'arrivée.

Choisissons, si vous voulez, ce nombre 100 ; il ne restera plus qu'à partager en 100 parties égales l'intervalle compris sur le tube entre le point où s'arrête le mercure quand la glace fond, et celui où il se fixe quand l'eau bout, pour avoir construit notre échelle, qui comprend 100 degrés du point de départ au point d'arrivée.

Et je n'aurais plus rien à ajouter, si ces mots : point de départ, point d'arrivée, ne me semblaient renfermer quelques obscurités qu'il importe de dissiper.

J'ai comparé le point 0, le point de la fusion de la glace, au milliaire d'or des Romains, point de départ de toutes les routes qui de Rome se dirigeaient vers les divers points de la République. Si nous supposons, par exemple, un Romain allant de Rome à Capoue, le milliaire d'or était son point de départ, et le milliaire de pierre planté sur la place de Capoue, son point d'arrivée.

Mais il n'était pas défendu à un voyageur de venir de plus loin que le milliaire d'or, par exemple de Milan, et d'aller plus loin que Capoue, par exemple au détroit de Sicile.

De même ne peut-il pas arriver que le mercure parte de plus bas que le point de fusion de la glace, pour arriver plus haut que le point d'ébullition de l'eau ?

Et, si cette circonstance vient à se produire, notre échelle ne serait-elle pas trop courte ?

Trop courte en effet, mon enfant, mais rien ne sera plus facile que de corriger ce défaut : Quand une échelle est trop courte, on l'allonge, et pour cela il suffit d'y ajouter quelques échelons de même écartement que les échelons déjà construits.

Supposons, par exemple, que vous plongiez la boule de votre thermomètre dans un vase plein, non d'eau pure, mais d'eau salée, et que, le chauffant jusqu'à ce que cette eau bouille, vous suiviez de l'œil le mercure dans le tube : vous verrez que le mercure montera au-dessus du point 100, et que votre échelle est trop courte. Ajoutez alors quelques échelons, et vous reconnaîtrez que c'est vis-à-vis de l'échelon 109 que s'arrête définitivement le mercure.

Ce serait à l'échelon 150, si vous aviez plongé la boule dans l'essence de térébenthine bouillante, à l'échelon 225, si vous aviez remplacé l'essence de térébenthine par du vitriol, ou acide sulfurique. Mais eau salée, essence de térébenthine ou acide sulfurique, toujours il aurait suffi d'ajouter quelques échelons, quelques degrés à l'échelle.

Je comprends en effet que, pour les températures supérieures à celle de l'eau bouillante, il soit facile d'ajouter des échelons à l'échelle. Mais pour les températures inférieures à celle de la glace fondante, comment prolonger l'échelle ? Qu'est-ce que prolonger l'échelle au-dessous de zéro ?

Prolonger l'échelle au-dessous de zéro n'est pas plus difficile que de la prolonger au-dessus de 100 degrés. C'est ce malheureux nom de zéro qui vous embrouille ; malgré ce que nous en avons dit déjà, vous y attachez involontairement une idée de négation, et il vous semble difficile de concevoir quelque chose au-dessous de rien ; mais deux exemples usuels vont vous montrer que cette manière de compter qui vous effarouche, vous est déjà et depuis longtemps familière.

Vous savez que la hauteur des montagnes se compte au-dessus du niveau de la mer. Quand vous lisez, par exemple, dans une géographie que le mont Blanc a 4810 mètres de haut, vous savez que, si l'on dressait verticalement une immense échelle de 4810 échelons espacés chacun d'un mètre, et dont le plus élevé serait au niveau du mont Blanc, l'échelon zéro serait au niveau de la mer.

Mais, de ce que l'échelon placé au niveau de la mer porte le numéro zéro, de ce que, comme on dit, le niveau de la mer est à la cote zéro, cela empêche-t-il de mesurer la profondeur de la mer ? Pas le moins du monde.

Quand, dans la même géographie où vous avez lu que le sommet du mont Blanc est à la cote 4810, vous trouvez que la cote moyenne du fond du détroit de Behring, par exemple, est 100, vous sous-entendez aussitôt, « au-dessous du niveau de la mer », et si l'on vous signale deux points situés tous les deux à la cote 500, par exemple, l'un sur une montagne, l'autre au fond de la mer, vous vous gardez bien de les confondre. Vous vous dites que l'eau est à la cote 500 au-dessus, l'autre à la cote 500 au-dessous du niveau de la mer.

De même, quoique le rez-de-chaussée soit, dans une maison, l'étage qu'on aborde le premier et qui, par suite, peut être considéré comme le point de départ de ceux qui veulent visiter la maison, ils savent fort bien qu'on y trouve généralement deux escaliers, l'un pour monter au premier étage et au-dessus, l'autre pour descendre à la cave, et, pas plus que vous ne confondiez tout à l'heure les cotes au-dessus et au-dessous du niveau de la mer, ils ne confondent les deux escaliers qui conduisent au-dessus et au-dessous du rez-de-chaussée.

C'est exactement la même chose pour le thermomètre. Le zéro, c'est le niveau de la mer ou du rez-de-chaussée ; l'échelle que nous avons construite entre le point zéro et le point 100, c'est l'échelle des hauteurs des montagnes ou l'escalier du premier étage ; celle que nous avons prolongée au-dessus de 100, pour monter voir bouillir l'essence de térébenthine ou l'acide sulfurique, c'est l'escalier des étages supérieurs.

Enfin, quand le froid, devenu plus intense que celui par lequel le dégel commence, fera descendre notre mercure au-dessous du point zéro, l'échelle que nous appliquerons le long de la planchette de notre thermomètre, ce sera l'escalier de la cave, ou l'échelle des profondeurs de la mer.

Et maintenant, ma chère enfant, vous voilà aussi ferrée que pouvaient en leur vivant, l'être Celsius, Réaumur ou Fahrenheit sur les échelles thermométriques.

Et ce n'est pas peu prouver, car ces illustres défunts les connaissaient, c'est le cas de le dire, comme s'ils les avaient faites, puisque en effet les trois échelles en usage dans les divers pays du monde, ce sont eux qui les ont imaginées.

Qu'il y ait plusieurs échelles en usage, cette confiance a paru vous étonner, et en vérité je ne sais pourquoi, car rien n'est plus simple à comprendre.

Un propriétaire faisait ajouter une tour à son château. Le premier étage de cette tour était à 16 mètres au-dessus du rez-de-chaussée. Il s'agissait de faire l'escalier pour y monter. L'architecte dit au propriétaire :

« Nous pouvons faire un escalier de 100 marches, dont chacune aura 16 centimètres de haut, car 100 fois 16 centimètres font 16 mètres ; mais, si vous le préférez, nous pouvons ne mettre à votre escalier que 80 marches ; seulement elles vous forceront à lever le pied un peu plus haut, car- chacune aura 20 centimètres, puisque 80 fois 20 centimètres font 16 mètres. »

Je ne sais lequel des deux escaliers choisit le châtelain, mais je sais que tous les deux ont été appliqués aux thermomètres : le premier, celui de 100 marches, par le Suédois Celsius (1701-1744) ; le second, celui de 80 marches, par le Français Réaumur (1683-1757).

Le premier partagea dans chaque thermomètre l'espace, compris entre les deux points de fusion de la glace et d'ébullition de l'eau, en 100 parties égales, et fit ainsi l'échelle à cent marches, à cent degrés, ou l'échelle centigrade.

Le second divisa le même intervalle en 80 parties égales, et son échelle a gardé son nom : c'est l'échelle Réaumur.

Pour le premier le degré du thermomètre fut donc la centième, pour le second la quatre-vingtième partie de la dilatation du mercure quand la boule passe de la glace fondante dans l'eau bouillante.

La plupart des thermomètres portent encore les deux échelles : d'un côté du tube, l'échelle Réaumur, de l'autre, l'échelle centigrade, beaucoup plus usitée que la première depuis l'adoption, à l'époque de la Révolution, du système décimal.

Au surplus, si un thermomètre ne portait que l'une des deux, et s'il vous prenait envie, en y lisant une certaine température, de savoir quelle indication porterait l'autre échelle pour la même température, rien ne serait plus facile.

Puisque en effet il faut 100 marches de l'escalier centigrade pour gravir la hauteur qu'on gravit avec 80 marches seulement de l'escalier Réaumur, c'est que chaque marche centigrade n'est que les 80 centièmes, ou les 8 dixièmes de la marche Réaumur.

Transformer des degrés centigrades en degrés Réaumur, ou des Réaumur en centigrades, est donc un calcul des plus simples que vous prierez votre frère de vous faire, si par hasard vous n'avez pas vu vous-même les premiers éléments d'arithmétique⁷.

J'en aurais fini avec les échelles thermométriques, si je ne tenais à vous mettre en état de comprendre les récits des explorateurs des régions polaires, soit qu'il s'agisse des voyageurs véritables, comme le Norvégien Nordenskiöld, qui vient de parcourir toutes les côtes de la mer Glaciale, soit de ceux que Jules Verne a tirés de son imagination, et qui vous sont probablement plus familiers que ceux de Nordenskiöld.

Les uns et les autres, en effet, vous parlant des froids terribles qui font bloquer leurs vaisseaux par les icebergs des pôles, vous diront : « Ce jour-là le thermomètre descendit à 5 degrés au-dessous de zéro ». Et vous, qui avez vu plus d'une fois le thermomètre marquer à Paris degrés au-dessous de zéro, et qui n'en avez pas moins joué aux Tuileries sans y perdre ni votre nez, ni vos oreilles, vous vous demandez comment des marins aguerris et couverts de fourrures peuvent se plaindre si fort pour quatre ou cinq malheureux degrés que supporte vaillamment une jeune Parisienne de dix ans.

C'est que, ma chère enfant, il ne s'agit ici, ni de degrés centigrades, ni de degrés Réaumur, mais d'un escalier spécial adopté par les peuples du Nord.

L'architecte qui l'a construit au commencement du dix-huitième siècle, je veux dire le physicien Fahrenheit, dont je vous ai déjà donné le nom en même temps que ceux de Celsius et de Réaumur, habitait Dantzig.

Dans cette ville, comme sur tout le littoral de la Baltique, les hivers sont très rudes. Le thermomètre centigrade y remonte bien de temps en temps au-dessus de zéro, mais souvent il est au-dessous. En sorte que si l'on se bornait à dire : « Il y a aujourd'hui 2 degrés », il y aurait confusion. Il serait toujours nécessaire d'ajouter : au-dessus, ou au-dessous de zéro.

Pour éviter cette confusion, Fahrenheit imagina d'écrire, vis-à-vis du point correspondant à la glace fondante, non pas zéro, mais un nombre assez grand pour qu'il y eût entre ce nombre et zéro une grande marge.

Il choisit le nombre 32, en sorte que c'est à 32 degrés Fahrenheit au-dessus de zéro que la glace fond.

C'est comme si un propriétaire, ayant l'intention d'habiter le sous-sol de sa maison aussi souvent que le rez-de-chaussée, faisait partir le grand escalier, non du rez-de-chaussée, mais du sous-sol.

Quant au point correspondant à l'ébullition de l'eau, au lieu d'écrire en regard 100, comme Celsius, ou 80, comme Réaumur, il y écrivit 212. Et comme entre 32 et 212 il y a 180 degrés, il s'ensuit qu'un degré Fahrenheit

est la cent quatre-vingtième partie de la dilatation du mercure entre la glace fondante et l'ébullition de l'eau.

Dans la tour de 16 mètres dont, au commencement, l'escalier, nous a servi de modèle pour nos échelles thermométriques, nous montions déjà par 100 marches de 16 centimètres de haut, ou par 80 marches de 20 centimètres, Fahrenheit y a construit un troisième escalier, qui conduit du rez-de-chaussée au premier étage, par 180 marches, chacune d'un peu moins de 9 centimètres. Mais en outre, ce dernier escalier a une particularité : ce n'est point au rez-de-chaussée qu'en est le point de départ, mais dans un sous-sol situé 32 marches plus bas.

Je ne veux pas, ma chère enfant, vous fatiguer des calculs qui permettent de passer de l'échelle Fahrenheit à l'échelle Centigrade. Mais pour que vous puissiez vous rendre compte des températures supportées par les « voyageurs au pays des fourrures », voici un tableau où vous n'aurez qu'à les prendre, et que j'ai calculé tout exprès pour vous :

TABLEAU COMPARATIF
DE QUELQUES TEMPÉRATURES FAHRENHEIT ET CENTIGRADES
(En nombres ronds, c'est-à-dire sans fraction, et par conséquent, seulement
approximatif.)

FAHRENHEIT			CENTIGRADE		
50°	au-dessus de 0		10°	au-dessus de 0	
45°	—	0.....	7°	—	0
40°	—	0.....	4°	—	0
35°	—	0.....	2°	—	0
32°	—	0.....	0°	—	0
30°	—	0.....	1°	au-dessous de	0
25°	—	0.....	4°	—	0
20°	—	0.....	7°	—	0
15°	—	0.....	9°	—	0
10°	—	0.....	12°	—	0
5°	—	0.....	15°	—	0
0°	—		18°	—	0
5°	au-dessous de 0		20°	—	0
10°	—	0.....	23°	—	0
15°	—	0.....	26°	—	0
20°	—	0.....	29°	—	0
25°	—	0.....	32°	—	0
30°	—	0.....	35°	—	0
35°	—	0.....	37°	—	0
40°	—	0.....	40°	—	0

En jetant les yeux sur ce tableau, vous serez peut-être étonnée, ma chère enfant, de voir que les indications du thermomètre Fahrenheit, qui, à 50 degrés, sont si éloignées de celles du thermomètre Centigrade, s'en rapprochent de plus en plus à mesure que la température baisse, au point que les deux thermomètres se mettent d'accord à 40 degrés au-dessous de zéro.

Votre étonnement cessera si vous réfléchissez que le Fahrenheit, à qui il faut 180 degrés pour gravir l'intervalle qui sépare la température de la glace fondante de celle de l'eau bouillante, fait les pas plus petits que le Centigrade à qui 100 degrés suffisent pour franchir le même intervalle.

Les enjambées du second sont presque doubles de celles du premier. On comprend donc aisément que pendant que le mercure de Fahrenheit descend d'abord les 32 marches qui, de la température de la glace fondante, l'amènent à son zéro, puis les 40 qui, de ce zéro le font descendre à 40 degrés au-dessous de zéro, — en tout 72 degrés, — le mercure du thermomètre Centigrade, en quarante enjambées, rattrape son camarade, et marque, lui aussi, 40 degrés au-dessous de zéro.

Rappelez-vous notre tour de 16 mètres. La marche de l'escalier à 100 marches avait 16 centimètres de haut ; celle de l'escalier à 180 marches n'avait que 9 centimètres environ. Faites la multiplication et vous reconnaîtrez que 72 marches de 9 centimètres font à peu près la même hauteur que 40 marches de 16.

J'ai peut-être, ma chère enfant, insisté un peu longtemps sur ces diverses graduations. Mais si vous y réfléchissez, vous verrez que nous n'avons pas perdu notre temps. Ce qu'il fallait vous faire bien comprendre, c'est que le mercure, qui monte ou descend dans le tube du thermomètre au gré de la température, ne s'inquiète pas de la graduation qu'il plaît à l'opticien de mettre sur la planchette du thermomètre. Pour une même température, il s'arrête toujours au même point. La graduation est donc tout à fait arbitraire, et voilà pourquoi il est important de savoir passer de l'une de ces graduations à l'autre. Qu'un thermomètre, par exemple, marque 5 degrés Centigrades, ou 4 degrés Réaumur, ou 41 degrés Fahrenheit, les personnes habituées à ces diverses graduations reconnaîtront dans ces trois indications la même température, et dès lors il importe aussi peu qu'on désigne cette température par l'une ou l'autre des trois, qu'il importe peu qu'on dise de vous, ma chère enfant, que votre taille est de 1^m,25, ou de 3 pieds 10 pouces 2 lignes.

Maintenant nous allons passer à un autre sujet, et rechercher comment on peut obliger un thermomètre à rendre le mieux possible à son propriétaire les services pour lesquels celui-ci l'a acheté.

Ces services sont variés, et, suivant le rôle que vous destinerez à votre thermomètre, il faut apprendre à le bien choisir. De même en effet qu'on ne demande pas les mêmes qualités à un cheval de selle et à un cheval de charrette, de même il faut approprier son thermomètre à l'usage qu'on attend de lui.

Supposons par exemple que votre médecin vous charge de lui choisir un thermomètre. — Vous m'interrompez pour me dire : que diantre voulez-vous que mon médecin fasse d'un thermomètre ? — Sachez donc qu'il n'est pas d'instrument dont les médecins fassent un plus fréquent usage.

Vous avez vu, dans l'histoire d'une bouchée de pain, que la température intérieure du corps humain était, chez l'homme en santé, toujours la même, et égale à 37 degrés. M. Macé vous a même proposé de vous en assurer en promenant la boule d'un thermomètre de bouche en bouche, procédé qui, malgré la permission qu'il vous donne d'essuyer la boule, n'aurait rien d'attrayant pour les sujets de l'expérience.

Aussi n'est-ce pas dans la bouche, mais sous l'aisselle des malades, que les médecins placent leurs thermomètres, l'expérience leur ayant appris que la température ainsi obtenue est celle de l'intérieur du corps.

Et l'expérience leur a appris aussi que de très petites variations de température suffisent pour accuser des variations notables dans l'état de santé du malade.

Vous voyez ma chère enfant, que lorsque vous achèterez le thermomètre de votre docteur, il faudra le choisir capable d'indiquer de très petites variations de température.

Pour cela, demandez le tube le plus capillaire possible, car évidemment une même dilatation allongera d'autant plus le mercure que le diamètre du tube sera plus petit, de même qu'un litre d'eau, qui dans une bouteille s'élève jusqu'au bouchon, monte à peine de quelques centimètres quand on l'étalé au fond d'une large cuvette.

Sur un tube très capillaire, la longueur d'un degré sera considérable, et il ne sera pas difficile de tracer même des dixièmes de degré.

Au surplus voici un de ces thermomètres (fig. 87) à l'usage des médecins. Vous voyez que la graduation, qui s'étend, plus ou moins, du 30^e au 43^e degré, porte les dixièmes de degré, et vous voyez que jamais tube ne

mérita mieux son nom de capillaire, car la colonne de mercure y apparaît comme un trait délié, comme un fil, comme un cheveu.

Vous remarquerez aussi que la boule est relativement grosse. Il importe en effet de soumettre à la chaleur du corps une masse assez forte de mercure pour que sa dilatation soit considérable. Tant pis s'il faut laisser la boule un peu plus longtemps sous l'aisselle du malade, l'inconvénient n'est pas bien grand.

Je vous aurais fait de tout autres recommandations, si vous aviez dû acheter un thermomètre de bains. Là, en effet, une grande précision serait superflue. Il importe peu qu'on prenne son bain à 34 ou à 35 degrés ; 1 ou 2 degrés en plus ou en moins ne font rien.

Fig. 87.



Mais ce qui importe, c'est que le thermomètre prenne vite la température de l'eau dans laquelle il est plongé. Il ne faudrait pas, en effet, si vous ouvrez le robinet d'eau chaude, que pendant que votre thermomètre tergiverse et met un quart d'heure à prendre la température du bain, ce bain s'échauffe au point de vous brûler.

Aussi, voici un thermomètre de bain (fig. 88) : voyez comme la boule est petite, et le tube relativement gros. Pour échauffer la faible quantité de liquide contenue dans cette boule, il ne faut qu'un instant. En revanche, les degrés sont plus rapprochés sur la planchette que ne l'étaient les dixièmes de degré sur le tube du thermomètre du médecin.

Chacun des deux est propre au rôle qu'il est destiné à jouer : l'un a cette espèce de sensibilité qui consiste à accuser la plus petite variation de température, et qu'on obtient avec un tube délié et une grosse boule ; l'autre, l'espèce de sensibilité qui consiste à indiquer vite les variations de température, et qui appartient aux thermomètres munis d'une petite boule et d'un tube dont la capillarité n'est pas excessive.

Fig. 88.



En vous montrant ces deux thermomètres, je me suis exposé à vous faire perdre la confiance en mes paroles.

En effet, je vous ai expliqué que, pour graduer un thermomètre, on le plongeait successivement dans la glace fondante et dans l'eau bouillante, et qu'on marquait 0 et 100, vis-à-vis les deux points où le mercure s'arrêtait successivement.

Et voilà que, des deux premiers thermomètres que je mets sous vos yeux, l'un est gradué depuis 10 degrés au-dessous de zéro jusqu'à 50 au-dessus, et par conséquent n'a pas de point 100, l'autre gradué de 28 à 43 degrés au-dessus, n'a ni le point 0, ni le point 100.

Il faut, ma chère enfant, que je vous explique ces particularités, non seulement parce que je tiens à ne pas perdre votre confiance, dont j'aurai encore souvent besoin, mais encore parce que, de tous les thermomètres que vous verrez suspendus aux vitrines des opticiens, bien peu (et peut-être pas un) porteront les deux points 0 et 100.

On vous a dit que le mètre est la dix millionième partie du quart du méridien terrestre. Croyez-vous que le constructeur des mètres qu'on vous vend douze sols, ait mesuré, pour les construire, la longueur du méridien terrestre ? Non, n'est-ce pas ? Il prend un mètre déjà construit, et coupe son bâton juste à la longueur de ce mètre.

De même pour les thermomètres que je vous ai montrés. L'opticien qui les a faits a pris un thermomètre complet, je veux dire un thermomètre construit par un physicien, et gradué par lui en le plongeant successivement dans de la glace fondante et dans de l'eau en ébullition : Il a mis ce thermomètre dans un seau d'eau, dans lequel il a plongé en même temps le thermomètre médical et le thermomètre de bains que je vous ai montrés. Supposons que le thermomètre complet marquât 33 degrés : il a inscrit le nombre 33 en regard du point où s'est arrêté le mercure dans les deux thermomètres qu'il voulait graduer.

Il a alors ajouté de l'eau chaude à l'eau où il avait plongé les trois thermomètres, jusqu'à ce que le thermomètre du physicien marquât, par exemple, 43 degrés ; alors il a écrit 43 au point où s'est arrêté le mercure de chacun des deux autres.

Il n'a plus eu qu'à partager, dans chacun d'eux, en dix parties égales, l'espace compris entre le point marqué 33, et le point marqué 43, pour avoir dans chacun d'eux la longueur d'un degré.

C'est ce qu'on appelle graduer un thermomètre par comparaison. C'est ainsi que se graduent les trois quarts, je pourrais dire la totalité des thermomètres du commerce. C'est suffisamment exact pour ce à quoi ils sont destinés, et on laisse aux thermomètres des cabinets de physique la graduation par la glace et l'eau bouillante que je vous ai indiquée au début de ces entretiens.

Et maintenant, encore deux mots, et j'en ai fini avec les thermomètres.

En vous montrant tout à l'heure le thermomètre de bains, et vous faisant remarquer qu'on y faisait la boule relativement petite, je vous disais : « Pour échauffer la faible quantité de liquide contenue dans cette boule, il ne faut qu'un instant. »

J'ai dit liquide, je n'ai pas dit mercure. C'est qu'en effet dans la plupart des thermomètres de bains, ce n'est pas le mercure, c'est l'alcool, que la chaleur dilate dans le tube thermométrique.

Et ce n'est pas seulement dans les thermomètres de bains.

Quand on descend dans les profondeurs d'une cave, on ne s'y aventure pas sans guide ou sans lumière. De même on ne peut descendre l'échelle thermométrique que les yeux fixés sur le guide qui, descendant en même temps dans le tube, sert en quelque sorte à éclairer la route.

Or, quand ce guide est du mercure, il consent bien à descendre avec vous les 39 premiers degrés de l'échelle au-dessous de zéro ; mais, arrivé au quarantième, il fait faux-bond à celui qui le consulte : il refuse d'aller plus bas.

Pourquoi ? C'est que, de même que l'eau se gèle à 0 degré, le mercure se gèle à 40 au-dessous de zéro, cesse à cette température d'être un liquide, devient une masse solide et par suite impropre à marquer plus loin les changements de température.

Or il n'est pas rare, au nord de la Norvège, en Sibérie ou au Canada, de voir la température descendre plus bas que 40 degrés au-dessous de zéro. Il a bien fallu alors remplacer le mercure, qui refusait de vous suivre, par une substance offrant plus de résistance contre le froid. C'est l'alcool qu'on a choisi.

L'alcool en effet résiste, sans se congeler, aux plus grands froids que l'on connaisse, ce qui le rend très propre à faire les thermomètres employés soit dans les pays froids, soit dans les cabinets de physique, quand il s'agit de mesurer des températures très basses.

Mais comme, en ce monde, on a toujours les défauts de ses qualités, le thermomètre à alcool, par contre, ne vaut rien pour les températures élevées. Arrivé à 78 degrés, il se met en vapeur, tandis que le mercure, lui, tient bon, sans se vaporiser, jusqu'à 350 degrés.

Donc, aux pays chauds et pour les températures élevées des cabinets de physique, c'est le thermomètre à mercure qu'il faut employer. Aux pays froids, au contraire, et aux températures basses des laboratoires, c'est le thermomètre à alcool qui convient.

Quant à la raison qui fait choisir de préférence l'alcool pour les thermomètres de bains, elle est moins scientifique. L'une des propriétés des thermomètres de bains est en effet d'être fréquemment cassés par les baigneurs peu soigneux. Or l'alcool est bien meilleur marché que le mercure : c'est cette prosaïque considération qui lui a valu la préférence.

XXXI^e ENTRETIEN

DEUX DETTES ACQUITTÉES

Depuis notre dernier entretien, j'ai, ma chère enfant, consulté mon carnet d'échéances, et me suis aperçu que j'ai contracté envers vous deux obligations qui sont aujourd'hui exigibles.

Tout au commencement de ces entretiens, un jour que nous parlions des pendules, aussi bien de la pendule, au féminin, qui marque l'heure qu'il est, et trop souvent l'heure qu'il n'est pas, que du pendule, au masculin, dont le rôle est précisément d'obliger la pendule à marquer l'heure qu'il est, je vous ai promis de vous dire pourquoi le froid fait avancer les pendules⁸, et pourquoi le chaud les fait retarder.

Et maintenant que l'heure est venue de tenir ma promesse, je n'ai presque plus besoin de vous dire une chose devenue pour vous si facile.

Puisqu'en effet un pendule oscille d'autant plus vite qu'il est plus court, et d'autant plus lentement qu'il est plus long, à moins que les pendules n'aient seuls, entre tous les corps de l'univers, le privilège de n'être pas dilatés ou allongés par la chaleur, et raccourcis par le froid, il faut bien que la chaleur ralentisse les oscillations du balancier, et par conséquent fasse retarder l'horloge.

Or, ce privilège, les pendules ne l'ont pas, ou plutôt ils ne l'avaient pas, car les mécaniciens sont parvenus aujourd'hui à le leur donner.

Oh ! ne prenez pas cet air d'incrédulité ; ne me dites pas que les forces de la nature sont invincibles ; si, en effet, rien ne leur résiste, on peut ruser avec elles, et les obliger, sans qu'elles s'en doutent, à se combattre elles-mêmes.

Voulez-vous que je vous dise par quelle ruse on empêche la chaleur d'allonger le balancier des horloges et par suite de faire retarder ces horloges ?

Rappelez-vous ce que c'est qu'un pendule : une masse pesante oscillant autour d'un point fixe.

Et suspendue comment ? — Oh ! comme il vous plaira : par un fil, ou par une tige aussi légère que possible ; mais, droite ou courbe, simple ou double, peu importe, pourvu qu'une masse pesante oscille autour d'un point fixe, on a un pendule.

Quand, par exemple, vous êtes accroupie sur une escarpolette et vous y balancez, eh bien ! c'est alors vous-même qui jouez le rôle de pendule.

Et vous le jouez si bien au naturel, que si vous vous munissiez d'une montre à seconde, vous reconnaîtriez que toutes vos oscillations durent le même temps, qu'elles sont.... vous rappelez-vous ce terrible mot grec que je vous ai dit autrefois ? qu'elles sont.... c'est bien cela — isochrones.

Attention, maintenant, je lâche un peu de corde à l'escarpolette ; j'allonge le pendule ; que va-t-il arriver ?

— Que les oscillations seront plus lentes.

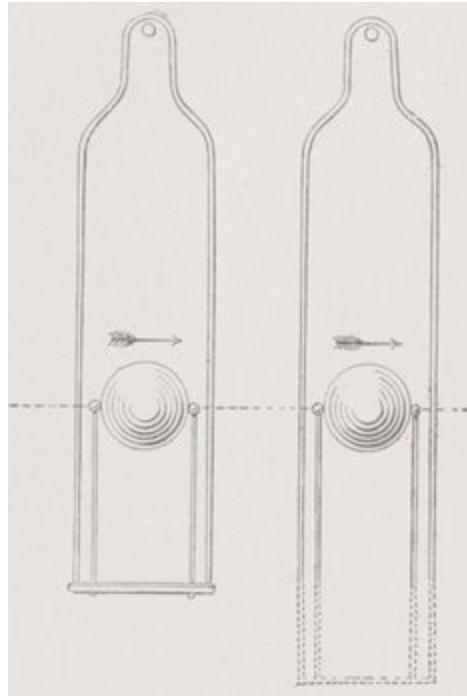
— C'est à merveille, et vous pouvez le vérifier. Mais ne pourriez-vous trouver moyen, tout en laissant la corde s'allonger, de rendre à l'oscillation sa vitesse première ?.... Vous ne répondez pas ? rien n'est pourtant plus facile. Vous étiez accroupie, levez-vous ; la corde aura beau s'être allongée ; comme vous aurez en même temps, en vous levant, remonté la masse pesante, la longueur du pendule n'aura pas changé, ni, par conséquent, la vitesse de ses oscillations ; la quantité dont vous aurez, en vous mettant debout, remonté la masse oscillante, compensera l'allongement de la corde.

C'est par un procédé tout semblable que les horlogers construisent les pendules compensateurs.

Au lieu de suspendre la lentille oscillante à une simple tige, ils la mettent sur une escarpolette, que vous voyez là figurée par un cadre métallique dont les branches verticales sont réunies par une traverse horizontale formant le siège de l'escarpolette.

Sur ce siège, plantez maintenant, debout, un autre cadre (fig. 89), en cuivre, auquel nous confierons le soin de supporter la masse oscillante, et vous aurez la représentation fidèle du pendule que vous figuriez vous-même quand vous étiez accroupie sur votre escarpolette.

Fig. 89. Fig. 90.



Vienne en effet une élévation de température (fig. 90), que va-t-il arriver ? que le cadre extérieur, en acier, qui représente les cordes de l'escarpolette, va s'allonger comme s'allongeaient tout à l'heure les cordes de cette escarpolette, et que par conséquent la masse oscillante va tendre à descendre.

Oui, mais en même temps le cadre intérieur, en cuivre, s'allonge, et comme ses deux pieds reposent solidement sur la traverse de l'escarpolette, il ne peut s'allonger qu'en remontant la masse oscillante, exactement comme vous l'avez relevée vous-même, quand vous êtes passée de la position accroupie à la position debout.

Ainsi le cadre d'acier l'abaissant d'une part, le cadre de cuivre la remontant de l'autre, la compensation..... Je vois dans votre œil que vous avez envie de finir ma phrase, et de conclure que la compensation est établie.

Et du même coup, je m'aperçois que vous n'avez pas encore parfaitement compris, car pour qu'il y ait compensation, il ne suffit pas que le cadre de cuivre remonte la masse, pendant que le cadre d'acier l'abaisse, mais il faut en outre que le cadre de cuivre remonte la masse précisément de la quantité dont l'abaisse le cadre d'acier.

Est-ce possible ? Nous l'avons supposé dans le dessin que j'ai mis sous vos yeux, mais je ne vous l'ai pas encore prouvé, et par conséquent rien ne vous autorise jusqu'à présent à l'affirmer.

Avez-vous quelquefois jeté les yeux sur ce qu'on appelle un signalement ? C'est la description des particularités d'un homme, des particularités par lesquelles il diffère des autres hommes, et qui par conséquent peuvent le faire reconnaître.

C'est ainsi qu'on n'écrira pas sur un signalement que M. un tel a un nez, car, tout le monde en ayant un, ce ne serait pas un signe auquel on pourrait reconnaître la personne dont on fait le signalement ; mais on dira que M. un tel a le nez long, ou crochu, etc.

On fait de même, ma chère enfant, le signalement des corps ; et si l'on n'y inscrit pas que le corps se dilate, par la chaleur, puisque tous les corps se dilatent, on a bien soin d'y signaler de quelle quantité il se dilate.

Ces quantités sont très différentes, et de même qu'il y a, par exemple, des hommes plus frileux que d'autres, de même il y a des corps qu'une même élévation de température dilate beaucoup plus que d'autres.

Voici, par exemple, deux barres, l'une d'acier, l'autre de cuivre. Pendant que le thermomètre marque 0 degré, je les coupe toutes les deux de manière qu'elles aient exactement un mètre ; puis je les chauffe ensemble à 20 degrés.

Quand elles seront à 20 degrés, elles ne seront plus égales. La première, la barre d'acier, aura..... Mais à quoi bon vous dire ce qu'elle aura ? Le chiffre importe peu. Ce qui importe, c'est de savoir que la barre de cuivre sera un peu plus longue que la barre d'acier.

Les savants ont, pour chaque corps, mesuré de combien s'allonge un mètre du corps, quand sa température s'élève d'un degré, et si jamais vous entendez prononcer le mot passablement rébarbatif de coefficient de dilatation, vous vous souviendrez que ce coefficient de dilatation, c'est précisément l'allongement que fait éprouver à un mètre du corps une élévation de température d'un degré.

On a dressé les listes de ces coefficients, et ceux de l'acier et du cuivre ont servi, par un calcul qui n'est pas bien difficile, à trouver les longueurs convenables à donner aux tiges de cuivre et d'acier, pour obtenir une compensation exacte.

Vous pensez bien, ma chère enfant, que je ne vais pas vous faire ce calcul. Mais je peux du moins aisément vous en faire saisir le principe.

Supposons un instant (ces nombres sont faux, mais je les imagine à dessein pour vous rendre la chose très claire), supposons donc que le coefficient du cuivre soit double de celui de l'acier ; que, par exemple. le cuivre s'allonge de un centimètre par mètre pendant que l'acier ne s'allonge que d'un demi-centimètre, il est clair que si nous faisons l'escarpolette en acier et longue d'un mètre, et si sur cette escarpolette nous plantons un bonhomme en cuivre, long d'un demi-mètre, et dont la tête remplacera la masse du pendule, l'escarpolette s'allongeant d'un demi-centimètre baissera de cette longueur les pieds du bonhomme ; mais de son côté le bonhomme, qui est en cuivre et par conséquent s'allonge d'un centimètre par mètre, grandira, n'étant long que d'un demi-mètre, précisément de ce demi-centimètre dont ses pieds se sont abaissés, c'est-à-dire que sa tête n'aura pas bougé.

C'est, sinon de la même manière, du moins sur le même principe que les constructeurs font leurs calculs, et qu'il parviennent à faire des horloges astronomiques si exactement compensées, qu'elles varient à peine de quelques secondes dans toute une année.

Voilà ma première obligation remplie. Voici la seconde.

Quand je vous ai décrit la première montgolfière, s'enlevant de la place d'Annonay, le 4 juin 1783, je vous ai dit : « Les frères Mongol-fier, qui savaient que l'air chaud pèse moins que l'air froid, allumèrent un réchaud sous leur ballon⁹. »

Et maintenant il vous est facile de comprendre, non seulement que l'air chaud pèse moins, mais encore pourquoi il pèse moins.

Voici, en effet, une bouteille d'un litre. Je la pèse très exactement, et je trouve qu'elle pèse sept cents grammes. Mais comme un litre d'air pèse un gramme et un tiers, dans ce poids de sept cents grammes, le verre de la bouteille n'entre que pour six cent quatre-vint-dix-huit grammes et deux tiers.

Plaçons maintenant la bouteille dans une chaudière pleine d'eau et chauffons l'eau progressivement jusqu'à la faire bouillir. Il est évident que l'air, en s'échauffant, se dilatera, et qu'une partie, ne pouvant plus tenir dans la bouteille, s'échappera par le goulot ouvert.

Si donc je pesais maintenant la bouteille, le poids trouvé tout à l'heure serait diminué du poids de tout l'air qui est sorti de la bouteille.

La bouteille n'en est pas moins remplie par l'air dilaté, et par conséquent c'est toujours un litre d'air que vous pesez, la seconde fois comme la

première. Mais cette fois c'est un litre d'air à 100 degrés. Vous voyez donc qu'un litre d'air à 100 degrés pèse moins qu'un litre d'air, par exemple, à 0 degré.

Vous rappelez-vous que, lorsque nous avons fait partir d'Annonay la première montgolfière, nous étions presque aussi émus que les inventeurs, nous demandant, comme eux, si elle s'enlèverait.

Elle avait un volume de 900 mètres cubes, et nous en avons conclu que déplaçant 900 mètres cubes d'air, elle recevait de cet air, et de bas en haut, une poussée de 1200 kilogrammes.

C'est une jolie force, et qui nous donnait bon espoir ; mais, d'un autre côté, cette force allait être combattue et par le poids de l'enveloppe, et par celui de l'air renfermé dans cette enveloppe.

Combien allait peser cet air ? Dé combien allait-il diminuer la force ascensionnelle ? En resterait-il assez ? D'inquiétude, nous ne respirions pas.

Si nous avions connu, alors, la dilatation des corps, nous ne serions pas restés si longtemps en peine. Le calcul n'est pas bien difficile ; nous nous serions hâtés de le faire.

Nous aurions ouvert la table des coefficients de dilatation, et nous y aurions vu que, pour les 30 degrés environ dont la température de l'air s'élève, quand on place dessous le réchaud, son volume augmente environ d'un dixième, c'est-à-dire (puisque ce volume était de 900 mètres cubes) de 90 mètres cubes.

Naturellement le ballon ne peut pas contenir les 90 mètres cubes d'air, qui sont obligés d'en sortir, comme l'air sortait tout à l'heure de la bouteille chauffée au bain-marie, et, par conséquent, le poids total de l'air enfermé dans l'enveloppe, qui, avant d'être chauffé, était de 1200 kilogrammes, se trouve diminué du poids des 90 mètres cubes qui se sont échappés, ou de 120 kilogrammes, c'est-à-dire réduit à 1080.

C'est déjà bien assez, car à ces 1080 kilogrammes il faut ajouter le poids de l'enveloppe, qui était de 100 kilogrammes, total 1180 kilogrammes.

En sorte que, pour combattre la poussée résultant du déplacement de 900 mètres cubes d'air, et qui tend à enlever la montgolfière avec une force de 1200 kilogrammes, les poids réunis de l'enveloppe et de l'air contenu dans le ballon ne s'élèvent pas à moins de 1180 kilogrammes.

La poussée l'emporte, mais de 20¹⁰ kilogrammes seulement, et vous voyez que ce n'est pas sans raison que nous étions inquiets.

Et maintenant que nous avons réglé nos comptes, nous pouvons, la conscience légère, poursuivre le cours de ces entretiens.

XXXII^e ENTRETIEN

FUSION ET SOLIDIFICATION

« Solides, liquides, gazeux, sont trois adjectifs des plus relatifs, et qui conviennent successivement aux mêmes corps, quand changent les circonstances dans lesquelles ces corps se trouvent. »

Voilà ce que je vous disais tout au début de ces entretiens, et j'ajoutais aussitôt la promesse de vous apprendre plus tard quand changent en effet ces circonstances.

Vous les connaissez maintenant en partie, et il ne faudra que peu de mots pour vous les rendre familières.

Je vous ai montré la glace restant à 0 degré tout le temps qu'elle fond ; soit que la fusion ait lieu, un jour de dégel, dans le ruisseau de la rue, soit qu'on approche du feu, ou même qu'on mette sur le feu le vase qui contient la glace.

On dirait que l'eau solide, en se fondant, a le don de confisquer toute la chaleur, de l'emmagasiner, de la cacher, jusqu'au moment où toute la glace est fondue, si bien que, quelle que soit l'énergie de la source de chaleur, il n'en paraît rien au dehors, tant qu'il reste une parcelle de glace autour de la boule du thermomètre qui persiste à marquer obstinément 0 degré.

Et il faut bien qu'en effet la chaleur produite soit mise par la glace dans quelque cachette où le thermomètre ne sait pas la découvrir, car voici un autre phénomène qui n'est pas moins surprenant que le premier.

Tout à l'heure, nous avons mis sur le feu notre marmite pleine de glace, et tant que la glace n'avait pas été toute fondue, le thermomètre était resté à 0.

Maintenant la glace est fondue, et aussitôt le thermomètre commence à monter rapidement. Il serait bientôt à 100 degrés, si nous le laissions faire.

Mais, au lieu de le laisser faire, je porte la marmite dans la cour, où il gèle à pierre fendre. Un thermomètre suspendu au mur y marque 10 degrés au-dessous de 0. Que va faire le thermomètre de la marmite ?

Voici d'abord qu'il descend à 0, aussi vite que tout à l'heure il avait monté. A ce point il devient stationnaire, ne descendant ni ne montant. En

même temps, l'eau commence à se geler ; à la surface d'abord, puis de plus en plus profondément. Mais le thermomètre s'obstine à rester à 0.

Enfin la masse complète de l'eau de la marmite s'est convertie en glace, et voyez, voilà le thermomètre, si obstiné tout à l'heure à marquer 0, qui prend la course et descend de plus en plus. Le voilà arrêté de nouveau, et il marque 10 degrés au-dessous de 0, comme celui qui est suspendu au mur.

On dirait qu'en se remettant en glace, l'eau a restitué la chaleur qu'elle avait cachée tout à l'heure quand, de l'état solide, elle est passée à l'état liquide, et que cette chaleur ainsi restituée a été employée à maintenir à 0 le thermomètre de la marmite, bien que, tout autour d'elle, la température fût de 10 degrés plus basse que 0.

Ainsi, quand la glace se fond, tant qu'il en reste une parcelle non fondue, le thermomètre reste à 0. Quand l'eau se gèle, tant qu'il reste une goutte d'eau non solidifiée, le thermomètre reste également à 0.

Et il ne commence à monter, dans la première expérience, que lorsque toute la glace est fondue, à descendre, dans la seconde, que lorsque toute l'eau est solidifiée.

Voilà, n'est-il pas vrai, une propriété bien curieuse ? Mais ce qui ne l'est pas moins, c'est que tous les corps susceptibles de se fondre, s'il s'agit de corps solides, ou de se solidifier, si c'est de liquides, partagent la propriété dont jouissent l'eau et la glace.

Prenez, par exemple, du mercure, et transportez-le, au mois de janvier, en Laponie ; si vous y avez plongé un thermomètre à alcool, vous verrez ce thermomètre descendre rapidement à 10, 20, 30, 40 degrés au-dessous de zéro.

Arrivé là, le thermomètre s'arrêtera, et en même temps le mercure commencera à se solidifier : tant qu'il restera une goutte de mercure liquide, le thermomètre restera à 40 degrés. Quand la masse entière du mercure sera congelée, le thermomètre recommencera à descendre jusqu'à ce qu'il ait atteint la température de l'atmosphère.

Prenez alors ce bloc de mercure solide avec son thermomètre fiché au centre, et portez-le sur un poêle rouge. Vous verrez le thermomètre remonter rapidement jusqu'à 40 degrés au-dessous de zéro, et là, le bloc commencera à fondre. Alors le thermomètre s'arrêtera, et restera stationnaire à 40 degrés au-dessous de zéro, tant que le mercure ne sera pas entièrement fondu.

Vous pourriez essayer la même expérience avec un corps quelconque, vous trouveriez toujours les mêmes phénomènes.

Chaque corps a une température, toujours la même, à laquelle il fond, s'il est habituellement solide, et il se solidifie, s'il est habituellement liquide.

Je vous défie, par exemple, de chauffer plus haut que 111 degrés un bâton de soufre, sans le voir couler comme de l'eau. Mais je vous défie aussi de laisser refroidir plus bas que 111 degrés du soufre liquide, sans le voir reprendre son état solide.

Et là encore, comme pour le mercure et l'eau, le thermomètre restera à 111 degrés tout le temps que le soufre solide mettra à se fondre, et tout le temps que le soufre liquide mettra à se solidifier.

Tous les corps, vous le voyez, semblent avoir pris l'eau pour modèle et se conduisent comme elle, soit pour passer à l'état solide, soit de l'état solide, pour revenir à l'état liquide.

Toutefois, ils ne l'imitent pas en tout. Ils lui laissent en propre une propriété qui nous est souvent nuisible, à nous autres hommes, qui ne pouvons que la constater sans nous opposer à ses effets, et qui ne nous servirait à rien si je ne me proposais de vous faire démontrer par elle la puissance des forces de la nature.

Vous avez souvent entendu dire : Il gèle à pierre fendre. Vous êtes-vous demandé l'origine de cette locution proverbiale ?

Les voyageurs qui ont traversé en hiver certaines crêtes de l'Oural vous diraient que, dans le silence profond de ces régions couvertes de neige, on entend parfois le bruit sec d'une pierre qui éclate.

Quelle est la force mystérieuse qui la fait éclater ?

Précisément la gelée, et je vais vous indiquer une expérience que vous pourrez faire la première fois qu'il gèlera, et qui vous éclaircira ce mystère.

Remplissez d'eau une bouteille ; bouchez-la bien et mettez-la, la nuit, sur votre fenêtre. Le lendemain, vous trouverez la bouteille cassée.

Vous verrez aussi que, tout le long de la cassure, il se sera formé un bourrelet de glace, indiquant que la glace occupe plus de volume que l'eau d'où elle provient, et par conséquent expliquant pourquoi la bouteille a cassé.

C'est cette force d'expansion de la glace qui brise, dans l'Oural, les pierres poreuses dans les pores desquelles l'eau avait pénétré.

Et si ce n'était que dans l'Oural ! Malheureusement, chez nous aussi, il y a, parmi celles qui servent à bâtir nos maisons, des pierres dont les pores se remplissent d'eau. Cette eau dort là sournoisement pendant la belle saison.

Mais, vienne en hiver une nuit rigoureuse, l'eau se gèle, la pierre éclate. Adieu la solidité de la maison.

Ces sortes de pierres s'appellent pierres gélives, et je n'ai pas besoin de vous dire qu'il faut éviter de les employer dans les constructions.

Mais vous n'êtes pas au bout des désastres que cette fatale expansion de la glace peut nous occasionner.

Depuis que les distributions d'eau des villes amènent l'eau à tous les étages des maisons, les propriétaires n'ont eu que trop souvent l'occasion de maudire cette expansion funeste.

Il suffit en effet d'oublier, un soir d'hiver, de fermer le robinet qui alimente les conduits, pour qu'un froid subit les fasse crever, et inonder, au dégel, dès que l'eau recouvre sa fluidité, les murs, les parquets et les plafonds.

— Je vous entends. Que ne fait-on, puisqu'on est prévenu, les conduites plus solides ?

— Plus solides ! vous me rappelez que je vous ai promis un exemple de la puissance des forces de la nature. Écoutez :

Un physicien de Québec avait résolu de voir jusqu'où allait la force d'expansion de la glace. Un soir, où le ciel brillant d'étoiles annonçait un de ces froids qui font geler le mercure, notre physicien remplit d'eau une bombe de 32.

Savez-vous ce que c'est qu'une bombe de 32 ? c'est un globe creux en fonte, de 32 centimètres de diamètre, de plus de 5 centimètres d'épaisseur, et percé d'un trou, qu'on appelle l'œil de la bombe, par où les artilleurs introduisent la poudre destinée à la faire éclater.

C'est par cet œil que notre physicien versa l'eau dans la bombe, puis il la boucha avec une forte cheville en bois qu'il enfonça à grands coups de marteau. Après quoi il abandonna sa bombe à la belle étoile, et alla se mettre au lit.

Il y était à peine, qu'une formidable explosion le fit sauter en pieds. Il court à la bombe. Le tampon avait été lancé avec violence, et tout autour de l'œil, un gros champignon attestait la puissance d'expansion de la glace. Nul doute que, si le tampon n'avait pas cédé, la bombe elle-même n'eût été brisée. Et vous pensez cependant quelle résistance offre un pareil récipient !

Que dites-vous, mon enfant, d'une pareille force ? ne peut-elle pas aller de pair avec celle qui a relevé le fameux mur du Conservatoire ?

Vous ne serez plus étonnée maintenant de voir, aux approches de l'hiver, les jardiniers habiller leurs pompes d'une enveloppe de paille, pour les mettre à l'abri du froid. C'est que l'expérience leur a appris que quelque solides qu'en soient les parois, la force expansive de la glace est plus puissante que les parois ne sont résistantes.

Vous ne le serez pas non plus, quand vous lirez que le vaisseau de quelqu'un de ces courageux explorateurs qui, au risque de mille tortures couronnées souvent par une mort terrible, vont arracher leurs secrets aux régions polaires, a été écrasé par la glace.

Et, puisque je parle des explorateurs polaires, avez-vous réfléchi que ces banquises, ces icebergs, ou tout simplement les glaçons flottant sur la Seine, prouvent précisément, et préalablement à toute vérification, l'expansion de la glace dont je viens de vous donner tant d'exemples ?

Souvenez-vous (car tout se tient dans l'étude de la nature) de la cause qui faisait s'enlever la montgolfière. L'air chaud pesait moins que l'air froid, pourquoi ? Parce qu'en devenant air chaud, il s'était dilaté.

Eh bien, faites congeler un litre [d'eau, qui équivaut, comme vous savez, à un décimètre cube et pèse un kilogramme ; vous aurez un kilogramme de glace. Mais aurez-vous aussi un décimètre cube de glace ?

— Non. Puisque l'eau se dilate en se congelant, nous aurons un volume de glace plus grand qu'un décimètre cube.

— Bien, maintenant jetez dans l'eau cette glace. Elle déplacera plus d'un décimètre cube d'eau, puisque son volume est de plus d'un décimètre cube, et par conséquent les lutins de la poussée exerceront sur elle un effort de plus d'un kilogramme : mais ceux de la pesanteur ne le tirent de haut en bas qu'avec une force d'un kilogramme.

— Donc ?

— Donc il faudra que le bloc surnage, et voilà, ma chère enfant, comment notre vieux principe d'Archimède pouvait nous faire prévoir que le physicien de Québec ne « dormirait pas son sommeil », pour parler comme Bossuet, sans être réveillé par l'explosion de sa bombe.

Cette propriété, de se dilater en se solidifiant, l'eau ne la partage qu'avec un très petit nombre de corps. La plupart au contraire se contractent, et, par suite, deviennent plus lourds en passant de l'état liquide à l'état solide. Si vous jetiez, par exemple, dans du mercure liquide, un bloc de mercure congelé, il tomberait au fond du liquide.

Mais ce n'est pas la seule propriété qui distingue l'eau des autres liquides. Votre maître de calcul vous a dit que le gram m est le poids d'un centimètre cube d'eau distillée et réduite à son maximum de condensation. Distillée, je vous expliquerai ce terme dans notre prochain entretien ; quant au maximum de condensation, ces mots expriment justement la propriété de l'eau que je vous annonçais tout à l'heure, et qui consiste en ceci :

Si l'on remplit deux thermomètres, l'un de mercure, l'autre d'eau, et qu'on les plonge dans un bain, par exemple, à 10 degrés, que l'on fait refroidir peu à peu en entourant de glace le vase où il est contenu, on voit d'abord les deux thermomètres descendre. Tant que celui à mercure, — le vrai thermomètre, — marque 8, 7, 6, 5, 4 degrés, le thermomètre à eau descend comme lui. Mais quand le thermomètre à mercure indique que la température descend au-dessous de 4 degrés¹¹, le thermomètre à eau, au lieu de continuer, lui aussi, à descendre, remonte, et prouve ainsi que l'eau qui, à partir de 4 degrés, se dilate soit que la température s'élève, soit qu'elle s'abaisse, est, à 4 degrés, le plus contractée possible, ou, comme disent les physiciens, atteint, à 4 degrés, son « maximum de condensation ».

Or, comme 1 centimètre cube d'eau n'a pas le même poids quand on le prend à deux températures différentes, les inventeurs du système métrique ont naturellement choisi, pour unité de poids, le poids d'un centimètre cube d'eau à la température où il pèse le plus, à son maximum de condensation.

XXXIII^e ENTRETEN

L'ÉBULLITION

Un jour qu'une caravane d'Anglais avait fait, en partie de plaisir, l'ascension du mont Blanc, les voyageurs, mourant de faim et de soif, tirèrent de leurs sacs les provisions qu'ils avaient emportées ; un feu fut allumé, et une vaillante miss, qui avait escaladé le géant, se mit en devoir de montrer, en faisant cuire les œufs à la coque et préparant le thé, qu'elle était aussi bonne ménagère qu'intrépide ascensionniste. — Le mot n'est pas français ; mais les membres du Club alpin sont en train d'en enrichir la langue.

Elle fit chauffer son eau, et quand, bouillant à gros bouillons, cette eau commença à déborder de la cafetière, elle en versa la moitié sur les œufs, l'autre moitié dans la théière.

Chacun se mit alors en devoir de faire honneur au festin. Mais, ô surprise ! les œufs n'étaient pas cuits, et le thé était si faible, qu'on aurait dit que les feuilles avaient déjà servi.

L'Anglaise était fort étonnée. Elle l'eût été bien davantage, si elle eût pu escalader une montagne trois ou quatre fois plus haute que le mont Blanc, en voyant qu'elle pouvait, au sommet, laver ses mains blanches et délicates dans l'eau bouillante, sans les échauder.

Et vous devez, vous aussi, ma chère écolière, vous demander si la température de 100 degrés qui, dans la plaine, cuit les œufs, fait le thé excellent et brûle les doigts des imprudents qui s'y exposent, perd sa vertu sur les montagnes, ou si ce sont les œufs, le thé et les doigts qui changent de nature quand ils s'élèvent de quelques milliers de mètres au-dessus du niveau de la mer.

Ce n'est, ma chère enfant, ni l'un, ni l'autre.

C'est, tout simplement, que lorsque la jeune Anglaise du mont Blanc versa son eau bouillante dans la théière, cette eau n'était pas à 100 degrés, mais à 84, et que lorsque la jeune personne imaginaire qui gravit les trois ou quatre monts Blancs entassés l'un sur l'autre, trempa ses mains dans l'eau

bouillante, cette eau n'était, ni à 100, ni à 84 degrés, mais à 30 ou 40, plus ou moins, suivant le nombre de monts Blancs qu'elle avait empilés.

Mais alors, allez-vous me dire, je ne comprends plus rien à votre thermomètre. Vous avez marqué 100 degrés au point où le mercure s'est arrêté quand la boule était plongée dans l'eau bouillante, et vous prétendez maintenant que, la boule étant plongée dans l'eau bouillante, le mercure va s'arrêter au point marqué 84 ?

Oui, mais au sommet du mont Blanc seulement. Au pied, le mercure s'arrêterait à 100 degrés.

Je ne veux pas vous intriguer plus longtemps, et je vais vous dire d'où vient la différence.

Quand nous avons, au début de ces entretiens, parlé des trois états du corps, je vous ai dit que les molécules, qui, dans les corps solides, ont une grande tendresse l'une pour l'autre, au point qu'on ne peut les séparer sans efforts, ont, au contraire, dans les gaz, un tel esprit d'indépendance, qu'on ne peut, si on ne les enferme dans la prison la plus étroite, les empêcher de s'envoler.

Entre ces deux extrêmes, les liquides tiennent le milieu. Leurs molécules restent unies, mais on sent toujours qu'elles gémissent de leur dépendance, et n'attendent qu'une occasion de prendre la clef des champs. Semblables au héros d'Alfieri :

« Siam' schiavi, si, ma schiavi ognor frementi, »

elles sont esclaves, mais esclaves toujours frémissantes.

Leur principal geôlier, c'est la pression atmosphérique.

Il y a, dans les contes de fées, un génie qu'un enchanteur avait enfermé dans une boîte de plomb soigneusement scellée. Un pêcheur ayant ramené du fond de la rivière la boîte dans ses filets, l'ouvrit, et, sous forme d'une épaisse fumée, il vit grandir un être fantastique, qui lui causa la plus belle frayeur qu'il eût eue de sa vie. C'était le génie, qui, délivré de sa prison, s'envolait joyeux dans les airs.

Les molécules des liquides ne sont pas sans ressemblance avec le génie des Mille et une Nuits.

Voici, par exemple, un verre d'eau sur cette table. Les molécules ne demanderaient pas mieux que de prendre leur vol, sous forme de vapeur, comme celles que vous voyez s'élever en un joyeux nuage de la bouillotte qui est là, chantant sur le feu.

Mais allez donc vous envoler avec une charge d'une atmosphère ! une colonne d'eau de dix mètres de haut sur la tête.

Vous me direz : L'eau de la bouillotte a bien aussi dix mètres d'eau sur la tête, et pourtant ses molécules s'envolent ?

Oui, mais la chaleur, en les dilatant, en les écartant les unes des autres, relâche le lien qui les unit. Ce lien brisé, la pression de l'atmosphère n'est plus assez puissante pour les maintenir prisonnières ; elles s'élancent à la liberté.

Donc la chaleur et la pression, voilà les deux adversaires.

La première tend à écarter, à séparer les molécules, à rompre les liens qui les tiennent rivées l'une à l'autre, à changer les liquides en gaz.

La pression, au contraire, à rapprocher, à serrer l'une contre l'autre ces molécules : à empêcher les liquides de s'envoler en gaz ; à forcer au besoin les gaz à s'assagir en liquides.

De ces deux adversaires, quand c'est la chaleur qui l'emporte, le liquide bout, c'est-à-dire qu'il se forme dans la masse des bulles de vapeur qui la traversent en l'agitant, et viennent crever à la surface. En sorte que la formation de ces bulles, ou l'ébullition, peut être facilitée par deux circonstances : ou l'augmentation de la chaleur, l'élévation de la température, ou la diminution, l'abaissement de la pression.

L'abaissement de la pression, voilà qui explique l'ébullition prématurée du mont Blanc, où, comme vous savez, la pression est plus faible que dans la plaine. Tandis qu'au niveau de la mer, il faut une température de 100 degrés pour donner aux molécules de l'eau l'expansion nécessaire pour les convertir en vapeur, à 4810 mètres d'altitude, la pression est devenue assez faible pour que cette vapeur se forme à 84 degrés.

Mais ce ne sont là que des raisonnements, et je vous ai, dans un de nos derniers entretiens, mise en garde contre une foi trop confiante aux raisonnements appliqués aux phénomènes naturels. Je vous ai dit qu'il fallait toujours les contrôler par l'expérience.

Voyons donc ce que nous dira l'expérience.

Nous avons d'abord celle du mont Blanc, car si l'histoire de la jeune miss est un conte, le fait de l'ébullition de l'eau à 84 degrés est parfaitement

authentique.

Nous avons ensuite... non, nous ne pouvons pas mettre trois ou quatre monts Blancs l'un sur l'autre ; mais nous pouvons, sans nous déranger, obtenir une pression beaucoup plus faible que celle qui aurait lieu au sommet de trois ou quatre monts Blancs empilés : la machine pneumatique n'est pas faite pour autre chose.

Et en effet, si l'on met sous le récipient de la machine pneumatique de l'eau à 30 degrés, aussitôt qu'on fait le vide, l'eau se met à bouillir à gros bouillons.

Enfin voici une autre expérience, encore bien plus facile à faire, car si tout le monde n'a pas à sa disposition une machine pneumatique, tout le monde peut se procurer, pour quelques sous, le petit appareil que voici :

Dans une fiole à fond rond, qu'on appelle à cause de cela un ballon, on fait bouillir de l'eau, soit avec une lampe à l'esprit-de-vin, soit de toute autre manière.

Quand l'eau a ainsi bouilli quelques instants, la vapeur a entraîné avec elle tout l'air renfermé dans la fiole. Si on la bouche alors, et que, la retournant le bouchon en bas, on fasse, avec une éponge, couler de l'eau froide sur la fiole (fig. 91), on voit aussitôt l'eau bouillir à gros bouillons.

Fig. 91.



Vous voyez bien pourquoi ? Le froid de l'eau qu'on verse sur la fiole fait condenser la vapeur qui la remplissait, et, la pression se trouvant ainsi très faible au-dessus de l'eau liquide, celle-ci, qui n'est pas encore entièrement refroidie, bout comme elle bouillait tout à l'heure sous le récipient de la machine pneumatique.

Voilà sans doute, ma chère enfant, un nombre suffisant d'expériences pour vous convaincre de l'influence de la pression sur la température de l'ébullition.

Je veux pourtant vous en citer encore une, qui sera comme la contre-épreuve des précédentes :

Je vous ai montré l'ébullition avancée par la diminution de la pression : je veux vous la montrer retardée par son accroissement.

Vous n'êtes pas sans avoir entendu parler de Denys Papin, médecin français de la fin du dix-septième siècle. C'est lui qui, le premier, constata au moyen de la marmite qui a gardé son nom : Marmite de Papin, ce qu'on pourrait facilement vérifier aujourd'hui au moyen de la première chaudière venue de machine à vapeur.

Une chaudière de machine à vapeur est un vase hermétiquement fermé dans lequel on réduit de l'eau en vapeur ; je vous dirai plus tard dans quel but. L'eau bout donc dans cette chaudière close, et, comme la vapeur, à mesure qu'elle se produit, s'y accumule, elle presse de plus en plus fort sur l'eau encore liquide, qui arrive à supporter des pressions de 5, 6, 7, 8 atmosphères.

Or, si, dans chacune de ces chaudières on ménage un trou qu'on bouche hermétiquement par un tampon traversé par la tige d'un thermomètre, on voit que ces thermomètres marquent :

Dans celle à 5 atmosphères,	150	degrés
Dans celle à 6	—	160 »
Dans celle à 7	—	165 »
Dans celle à 8	—	170 »

Je ne vous donne que les nombres ronds, qui suffiront bien pour vous montrer que l'augmentation de pression retarde l'ébullition, comme la diminution de pression l'avance.

Et maintenant, vous devez, ma chère enfant, vous apercevoir de vous-même que, lorsque nous avons gradué notre premier thermomètre, nous avons, en définissant le point marqué 100 degrés, omis un mot dont les

nouvelles expériences que je vous ai décrites vous montrent la grande importance.

Au point, avons-nous dit, où s'arrête le mercure quand la boule plonge dans l'eau bouillante, nous écrivons 100. C'est à merveille ; mais puisque l'eau bout tantôt à 30 degrés, tantôt à 80, tantôt à 100, quelquefois à 150 ou à 170, comment pourrions-nous avoir des thermomètres comparables entre eux, si nous ne disions pas au préalable sous quelle pression nous faisons bouillir notre eau ?

Réparons vite cette omission, et rappelez-vous que ce qu'on appelle 100 degrés, c'est la température de l'eau bouillante, quand le baromètre indique 76 centimètres de pression.

Vous n'auriez jamais cru, n'est-ce pas, ma chère enfant, quand vous regardiez bouillir l'eau que vous vous prépariez à verser dans la théière, que cette ébullition nous donnerait occasion de causer si longtemps ?

Et je n'ai pas fini ! Ainsi, combien de fois n'avez-vous pas entendu faire à la cuisinière cette recommandation : « Ayez soin que l'eau bouille bien ! » Peut-être l'avez-vous faite vous-même, et la cuisinière aussitôt d'ajouter du bois au feu pour rendre son eau bouillante aussi chaude que possible.

Ma chère petite, vous perdiez vos recommandations et la cuisinière son bois. L'eau bouillante est à 100 degrés si l'on est dans la plaine, à 90 ou 95 si l'on est sur la montagne, mais à 90, 95 ou 100, si elle a commencé à bouillir, à 90, à 95 ou à 100 elle continuera, quand même vous jetteriez au feu, comme Bernard de Palissy, tout votre mobilier.

Pas plus en effet qu'il ne dépend de vous, de faire monter au-dessus de 0 le thermomètre qui plonge dans la glace en train de se fondre, pas plus vous ne pouvez, quelque ardent que soit votre feu, faire monter au-dessus de 100 degrés celui dont la boule plonge dans l'eau bouillante, pourvu que le baromètre marque 76 centimètres. De même que la glace, en passant à l'état liquide, employait à cette transformation toute la chaleur produite, au point de nous faire croire qu'elle la dissimulait en quelque cachette, de même en passant à l'état gazeux, l'eau liquide emploie, dissimule ou cache la chaleur qu'on lui fournit pour cette transformation.

Les phénomènes sont entièrement analogues, mais voici une autre analogie :

Nous avons reconnu que, pour chaque corps, il existe une température unique, et toujours la même, à laquelle le corps fond, et réciproquement devenu liquide, repasse à l'état solide : 111 degrés pour le soufre, 0 degré

pour la glace, 40 au-dessous pour le mercure. De même il existe, pour chaque corps liquide, une température unique et toujours la même, à laquelle, sous une même pression, le corps bout, c'est-à-dire passe de l'état liquide à l'état de vapeur, et réciproquement, devenu vapeur, repasse de l'état gazeux à l'état liquide. Par exemple, sous la pression de 76 centimètres, 100 degrés pour l'eau, 350 pour le mercure, 440 pour le soufre.

Je vous parlais dernièrement de ce que j'appelais le signalement des corps. Dans ce signalement on ne manque jamais d'inscrire, comme signe particulier, la température de l'ébullition à côté de celle de la fusion ; en d'autres termes, on y inscrit les températures auxquelles chaque corps devient successivement solide, liquide et gazeux.

Mais je m'aperçois que cet entretien se fait long, et je renvoie au prochain ce qu'il me reste encore à vous dire sur les changements d'état.

XXXIV^e ENTRETIEN

L'ÉVAPORATION.

Les molécules liquides ont, comme nous l'avons vu, la tendance, j'ai presque envie de dire la tentation de s'échapper, de s'envoler sous forme de vapeurs. Ce qui les retient, c'est la pression, et, dès que la chaleur vient contre-balancer la pression, elles rompent leurs liens et s'échappent.

Je ne vous les ai montrées jusqu'ici les rompant que violemment.

De grosses bulles se forment dans la masse, montent en l'agitant ; la soulèvent, et finalement s'envolent dans l'atmosphère. C'est une évasion avec effraction. Nous l'avons appelée ébullition.

Mais souvent les molécules s'évadent en tapinois, sans bruit ni fracas, se glissant par la porte entr'ouverte, sans la briser ; on donne à ce nouveau genre d'évasion, le nom d'évaporation.

En automne, quand les nuits commencent à devenir fraîches, si de la terrasse de Saint-Germain on promène ses regards sur la vallée de la Seine, le cours de la rivière tortueuse et « à regret fugitive » est dessiné dans l'air par une ligne de brouillards qui en épouse les contours sinueux.

Cette rivière gazeuse, qui surmonte et accompagne la rivière liquide, c'est l'évaporation qui la crée.

L'évaporation, en effet, n'a pas, comme l'ébullition, besoin pour se produire, d'une haute température. Elle se produit, — j'allais dire à toutes les températures ; mais je retire le mot, car il n'est pas exact : il y a certaines températures au-dessous desquelles chaque liquide ne peut plus se vaporiser. Mais au-dessus de ces températures extrêmes, elle se produit à toutes les températures.

Par contre, si la chaleur ne joue pas dans le phénomène de l'évaporation un rôle aussi capital que dans celui de l'ébullition, la pression y conserve tous ses privilèges.

Tandis qu'en effet un liquide ne s'évapore que lentement sous une forte pression, il s'évapore pour ainsi dire, instantanément dans le vide.

Instantanément, mais non pas indéfiniment. Aussitôt en effet qu'une certaine quantité de vapeur, variable avec les divers liquides, mais toujours

la même pour un même liquide, s'est répandue dans l'espace en question, cet espace est plein, ou, comme on dit saturé.

Saturé pour cette température, s'entend, car si vous élevez la température, l'espace pourrait contenir une nouvelle quantité de vapeur.

Et tenez, c'est précisément cette loi qui va vous faire comprendre pourquoi, de la terrasse Saint-Germain, par une belle matinée d'automne, la Seine vous apparaît surmontée d'un tortueux serpent de brouillard.

L'eau de la Seine est plus lente à refroidir que l'air qui la baigne, en sorte que, au sortir de l'été, cette eau est plus chaude que l'atmosphère.

Elle profite de cette température relativement élevée pour s'évaporer abondamment, mais la vapeur, à peine formée, rencontre les couches froides de l'atmosphère, et s'y condense en petites gouttelettes, qui la rendent visible et dessinent le serpent qui accompagne le fleuve.

C'est un phénomène analogue qui se produit quand vous voyez, en été, un léger brouillard se déposer sur la carafe remplie d'une eau très fraîche :

Il y a toujours en effet dans l'air une certaine quantité de vapeur d'eau ; mais cette vapeur, à l'état gazeux, est invisible comme l'air lui-même. Et, quand je dis : une certaine quantité de vapeur, je m'exprime mal. Il y a toute la quantité de vapeur qu'il peut y avoir, avec la température du moment : l'air en est saturé. Quand alors vous posez sur la table une carafe très froide, les couches d'air voisines de la carafe se refroidissent ; elles ne peuvent plus dès lors garder une aussi grande quantité de vapeur que les couches chaudes de la chambre, et cette vapeur se dépose sur la carafe.

Le phénomène de la saturation explique aussi pourquoi la lessive qu'une ménagère étend sur les haies, y sèche beaucoup plus vite quand il fait du vent que lorsque l'air est calme, et justifie un geste que vous avez fait assurément bien souvent vous-même, machinalement et sans savoir pourquoi.

N'est-il pas vrai que, lorsque, en écrivant une lettre vous arrivez au bas de la page, si vous n'avez sous la main, ni poudre, ni papier buvard, vous soufflez, pour les sécher, sur les dernières lignes avant de tourner la page ?

Vous saurez désormais pourquoi vous aidez ainsi à les sécher, et pourquoi le vent qui passe sur la haie contribue à sécher le linge qui y est étendu.

De ce linge mouillé, aussi bien que de l'encre de votre lettre, s'évapore une certaine quantité d'eau. Si l'air est calme autour de la haie ou de votre lettre, les couches d'air en contact avec la haie ou la lettre, se saturent de

vapeur d'eau, et par conséquent deviennent inaptes à recevoir une nouvelle quantité de vapeur. Ni le linge, ni la feuille ne sèchent plus.

Qu'au contraire Borée souffle sur la haie ou vous sur votre papier, la couche saturée d'humidité est emportée, et aussitôt remplacée par une nouvelle couche sèche, qui soutire à votre papier ou au linge une nouvelle quantité d'humidité.

Voilà donc le rôle de la chaleur et celui de la pression nettement distingués dans l'évaporation, aussi bien que dans l'ébullition. Il reste à nous faire une dernière question.

Dans l'ébullition, nous avons vu la chaleur confisquée, cachée, par le liquide en train de bouillir, si bien que, quelque grande que fût notre dépense de combustible, nous ne sommes pas parvenus à élever la température au-dessus de celle que la nature a assignée à l'ébullition du liquide. Allons-nous, dans l'évaporation, rencontrer un phénomène analogue ?

Analogue, oui, mon enfant, mais non pas identique.

Toutes les fois qu'un liquide s'évapore, il emprunte à tout ce qui l'entoure la chaleur nécessaire à ses molécules pour prendre la force de s'envoler, de se volatiliser, pour employer le mot propre : dans l'ébullition, ces molécules, en confisquant cette chaleur à une source sans cesse renouvelée, empêchent la température de s'élever ; dans l'évaporation (et c'est là l'analogie), en l'empruntant à une source qui ne se renouvelle pas, elles la refroidissent.

Et voilà pourquoi l'évaporation est une source énergétique de froid.

Vous faut-il des exemples ? Au besoin vous me les donneriez vous-même. D'où vient, quand on sort du bain, que, quelque chaude que soit la chambre, on éprouve un froid très vif ? — C'est que l'eau dont on a le corps couvert lui emprunte, pour s'évaporer, cette chaleur dont on sent alors le défaut.

Encore le bain se prend-il toujours dans l'eau, c'est-à-dire dans un liquide dont la tendance à s'évaporer est médiocre, qui est peu volatil, pour parler comme les physiciens. Que serait-ce si l'on sortait d'un bain d'éther ? Essayez de verser sur votre main une goutte de ce liquide, et vous en aurez une idée par le froid que vous éprouverez au point mouillé par la goutte d'éther.

Savez-vous ce que c'est que les alcarazas ? Ils ont été inventés tout exprès pour vous donner un second exemple.... C'est-à-dire non, ils n'ont

pas été inventés pour cela, mais ils peuvent servir à vous donner un second exemple du froid produit par l'évaporation.

Un alcarazas est tout simplement une carafe en terre très poreuse (fig. 92). L'eau qu'on y met suinte à travers les pores et, s'évaporant à mesure qu'elle apparaît en imperceptibles gouttelettes sur la panse de l'alcarazas, produit un froid suffisant pour rafraîchir l'eau qui y est contenue.

C'est en Espagne et dans les pays chauds qu'on emploie les alcarazas. Vous en verrez beaucoup en France, qui ne rafraîchissent pas le moins du monde l'eau qu'on leur confie. Je vous prie alors, ma chère enfant, de ne vous moquer ni des alcarazas, ni de moi qui vous ai garanti leurs vertus rafraîchissantes, mais du fabricant, qui, en employant de la terre non poreuse, a fait un alcarazas à peu près comme un horloger ferait une montre, s'il ne mettait que le boîtier et le cadran, et oubliait de cacher dessous le mécanisme.

Fig. 92.



Enfin je vous citerai un troisième exemple du froid dû à l'évaporation, mais celui-là sans y insister, parce qu'il faudrait entrer dans la description d'une machine compliquée. C'est par l'évaporation de l'ammoniaque ou alcali volatil (ce nom vous fera comprendre combien l'évaporation doit en être rapide), qu'on obtient en été cette belle glace avec laquelle on frappe les carafes, et qui a presque partout remplacé la glace plus ou moins salie qu'on ramassait autrefois, en hiver, dans les rivières, et qu'il fallait conserver à grand'peine jusqu'à l'été.

Je vous dirai peut-être comment on la conservait, mais je ne veux pas laisser accumuler mes dettes, et j'en ai encore une en retard.

En vous définissant le gramme, je vous ai promis de vous dire ce que c'est que l'eau distillée ; ce que veut dire le mot distiller.

Vous est-il jamais arrivé de goûter de l'eau de pluie ? Essayez-en à la première averse ; mais de l'eau de pluie qui n'ait pas passé sur les toits, qui soit tombée directement dans le vase où vous la puisez pour la boire. Vous la trouverez très pure, très légère, mais sans goût, fade et désagréable.

C'est de l'eau distillée.

Ce qui donne du goût à l'eau que vous buvez d'ordinaire, ce sont les sels qui s'y sort fondus, ou, comme disent les chimistes, dissous. Quand je parle des sels, je n'entends pas le sel de cuisine qui ne se trouve habituellement que dans l'eau de mer ; mais l'eau potable contient une foule d'autres substances dont l'énumération vous étonnerait.

Il y a de la craie, que les chimistes appellent carbonate de chaux ; il y a du plâtre, qu'ils nomment sulfate de chaux ; il y a du sulfate de magnésie et du sulfate de soude, deux drogues abominables que vous avez avalées, non sans force grimaces, quand vous vous êtes purgée ; il y a de la terre ; en un mot, ce qui rend l'eau agréable et en même temps saine à boire, c'est la présence d'une foule de substances dont chacune serait très mauvaise et assez malsaine, s'il fallait en avaler une certaine quantité. Mais ces substances sont mêlées à très petite dose dans l'eau, et, notez ceci, sur quoi nous reviendrons, à doses très variables.

Elles ne se trouvent pas du tout dans l'eau de pluie. Pourquoi ?

Vous vous rappelez que l'eau s'évapore à toutes les températures, mais d'autant plus que la température est plus élevée, et aussi qu'à chaque température, une certaine quantité de vapeur, toujours la même, remplit ou, comme on dit, sature l'espace où cette vapeur se forme. -

Quand le soleil chauffe, par exemple, l'air qui souffle sur la Manche, l'eau de cette mer et celle de la Seine se transforment en vapeurs, qui, plus légères que l'air, s'élèvent dans l'atmosphère par la même raison que les aérostats. Mais vous pensez bien que ces millions de petits aérostats formés par les molécules de vapeur d'eau n'ont pas assez de force ascensionnelle pour emporter dans leur nacelle, l'un du sel de cuisine, l'autre de la chaux, l'autre de la terre, etc. Non, chaque molécule d'eau monte seule, laissant dans la mer ou dans le fleuve les substances étrangères dont elle était chargée, et les nuages, qui ne sont autre chose que la réunion de toutes les molécules de vapeur d'eau, quelque chose comme une flottille de

minuscules aérostats infiniment rapprochés l'un de l'autre et voguant de conserve, les nuages sont de l'eau, et rien que de l'eau.

Or si, au moment où l'un de ces nuages passe, par exemple, au-dessus des Tuileries où vous êtes en train d'essayer pour la première fois une belle robe neuve, il rencontre un courant de vent du nord qui le refroidit brusquement, la beauté de votre robe ne peut abroger la loi qui diminue, quand la température s'abaisse, la quantité de vapeur qu'un espace peut renfermer, et le nuage repassant de l'état gazeux à l'état liquide, tombe sur vous en pluie. Mais soyez tranquille, ce qu'il verse sur votre robe neuve, ce n'est ni du sel, ni de la terre, ni de la chaux, c'est de l'eau, de l'eau pure, de l'eau distillée.

Cela ne vous console pas ? soit. Mais cela me donne, à moi, la facilité de vous expliquer comment les physiciens, les pharmaciens, etc., voulant distiller l'eau, s'y prennent pour reproduire exactement la scène des Tuileries qui vous a coûté une robe neuve.

Mais d'abord qu'ont à faire les physiciens et les pharmaciens d'eau distillée ? — Ils en ont besoin sans cesse, et vous l'allez comprendre par deux exemples.

Je vous disais tout à l'heure que les substances étrangères qui se trouvent dissoutes dans l'eau y sont en proportions variables. Or-ces substances ont des poids spécifiques, des densités fort différentes. Par suite, un litre d'eau puisé dans telle source ne pèse pas le même poids qu'un litre d'eau pris à une autre source. Et vous ne l'ignorez pas, vous qui faisiez si bien, aux bains de mer, la planche, que vous ne pouvez réussir à faire dans la rivière.

Pourquoi cette différence ? — C'est que l'eau de mer, chargée de sel, pèse notablement plus que l'eau de rivière. A la mer, par suite, les lutins de la poussée, dont la force équivaut au poids de l'eau salée que vous déplacez, sont plus énergiques qu'à la rivière, où elle ne vaut que le poids du même volume d'eau douce.

Comment donc aurait-on pu, pour mesurer les poids des corps, choisir pour terme de comparaison le poids d'un centimètre cube d'eau, si l'on ne s'était procuré une eau qui, débarrassée de toute substance étrangère, a toujours la même densité ?

Voilà pour les physiciens. Quant aux pharmaciens, l'utilité de distiller l'eau est, pour eux, encore plus frappante :

Quand le médecin ordonne de dissoudre un remède dans tant de grammes d'eau, c'est ce remède qu'il vous ordonne, et non pas un mélange de ce

remède avec de la chaux, de la terre, de la soude, etc... Il faut donc trouver moyen de retirer de l'eau toutes les substances étrangères qu'elle contient.

Le moyen, je vous l'ai déjà dit, c'est celui dont la nature lui a fourni le modèle.

Elle échauffe, par son soleil, l'eau qu'elle veut distiller. — L'homme la chauffe de même, dans une espèce de marmite en cuivre à qui sa ressemblance avec une citrouille a fait donner le nom de cucurbite, du mot latin cucurbita, citrouille. Voici la cucurbite.

Dans cette cucurbite, l'eau se met en vapeur, et le nuage, pour continuer la comparaison, s'envole par la queue de la citrouille.

Il ne reste plus qu'à faire souffler dessus le vent du nord. Mais comme les pharmaciens ne disposent pas de l'outre d'Éole, ils remplacent avantageusement le vent du nord par de l'eau froide. Ils la font couler sur le tuyau qui amène la vapeur de la cucurbite (fig. 93), et qu'ils roulent plusieurs fois sur lui-même en forme de serpent, pour pouvoir le faire très long sans lui faire occuper trop de place. C'est ce qu'ils appellent le serpent.

Fig. 93.



Pour vous laisser voir le serpentin, j'ai fendu le vase qui le contient ? et, par la même occasion, vous pouvez voir que, dans ce vase on fait arriver l'eau froide par le bas. Elle monte à mesure qu'elle se réchauffe, mais, comme elle trouve au haut du vase un orifice par où elle s'échappe à mesure qu'elle s'échauffe, le serpentin reste toujours entouré d'eau froide, et sous le robinet qui le termine, un flacon reçoit de l'eau aussi bien distillée que celle qui a gâté, aux Tuileries, votre robe neuve.

XXXV^e ENTRETIEN

CORPS BONS ET MAUVAIS CONDUCTEURS

Voici déjà longtemps, ma chère enfant, que nous causons de la chaleur et de ses propriétés, et je ne vous ai pas dit encore ce par où commencent toutes les physiques, qu'il y a des corps bons et des corps mauvais conducteurs de la chaleur.

Non que je ne fusse d'avance bien déterminé à vous l'apprendre. Mais je crains pour vous, vous le savez, les termes techniques, et ces mots : corps bons conducteurs, corps mauvais conducteurs, me faisaient peur, je l'avoue.

Ce n'est pas que ce qu'ils expriment ne soit bien connu : quand, l'été vous vous couvrez de toile, et l'hiver de fourrures ; quand, ayant acheté de la glace et voulant la garder pour le lendemain, votre cuisinière l'enveloppe dans des couvertures de laine ; quand le paysan russe met des doubles vitres aux fenêtres de sa hutte, vous, votre cuisinière et le paysan russe, tous vous utilisez à votre profit la propriété des corps d'être bons ou mauvais conducteurs de la chaleur.

Voici devant le feu un fer à repasser qui se chauffe, et voici un charbon enflammé par un bout qui a roulé avant que le feu ait embrasé le charbon tout entier. Je prends délicatement le charbon entre l'index et le pouce, et je le remets dans le foyer, car l'expérience m'a appris que je peux impunément et sans me brûler le toucher très près du point en incandescence.

Au contraire, l'expérience m'a appris que si je veux retirer le fer du feu, il faut que je le saisisse au moyen d'une poignée en laine.

Cependant le charbon est beaucoup plus petit que le fer, et la portion embrasée dont j'approche impunément mes doigts à quelques millimètres, bien plus chaude que la semelle du fer, car le charbon brûlerait le linge sur lequel je vais promener mon fer sans danger.

De cette expérience il faut bien conclure que la chaleur pénètre plus facilement le fer que le charbon, que le fer la laisse plus facilement passer, qu'il la conduit mieux, qu'il est meilleur conducteur. Voilà tout ce que veulent dire ces mots qui vous semblaient barbares, et le mot, plus barbare

encore, par lequel on exprime la propriété des corps de bien conduire la chaleur : la conductibilité.

Des expériences que chacun peut faire, comme celle du fer à repasser, prouvent que tous les métaux sont bons conducteurs, et des expériences beaucoup plus délicates, faites par les physiciens, qu'ils le sont inégalement. Par exemple, le cuivre est meilleur conducteur que le fer.

Au contraire, le bois, l'ivoire, sont mauvais conducteurs. Voilà pourquoi les cafetières d'argent sont pourvues d'un manche, d'une queue de bois, il serait impossible de les prendre par une anse d'argent sans se brûler.

Fig 94.

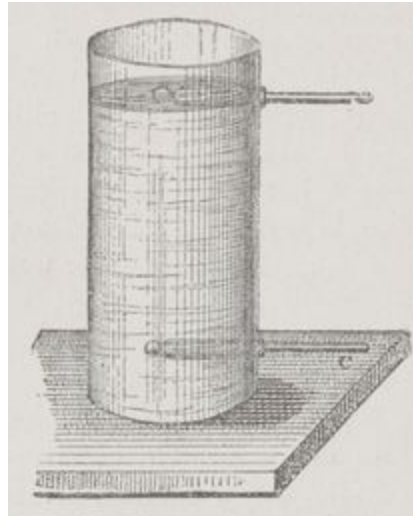


D'autres fois, quand il s'agit d'une cafetière ou d'une théière élégante, on lui donne une anse d'argent, mais alors on fait cette anse de deux parties, et entre celle qui, soudée à la théière, en transmettrait à la main la chaleur, et celle destinée à être tenue par la main, on interpose des rondelles d'ivoire mauvaises conductrices (fig. 94), et chargées de dire à la chaleur : « On ne passe pas ! »

En général les liquides sont mauvais conducteurs, et ici je dois vous mettre en garde contre des apparences trompeuses :

Voici un vase en verre rempli d'eau ; je mets en haut un thermomètre (fig. 95) qui pénètre dans le vase à travers un bouchon fermant un trou percé dans la paroi ; puis je chauffe le vase par en bas au moyen d'une lampe à alcool. Au bout de peu d'instants le thermomètre commence à monter : qu'allez-vous conclure de là ?

Fig. 95.



— Que l'eau est bonne conductrice de la chaleur.

— J'avais prévu votre réponse : mais attendez un peu.

Voici le même vase. Le thermomètre qui était en haut, je le mets en bas et, au lieu de chauffer le fond du vase au moyen d'une lampe à alcool, je plonge dans l'eau, à la partie supérieure, un vase de fer-blanc où je verse de l'huile préalablement chauffée à 300 degrés.

Cette fois, j'ai beau attendre, le thermomètre ne bouge pas. Je renouvelle ma question de tout à l'heure : Qu'allez-vous conclure de là ?

Logiquement vous devez en conclure que l'eau est mauvaise conductrice.

Bonne d'après la première expérience, mauvaise d'après la seconde, il faut pourtant choisir ?

Ma conclusion à moi, ma chère enfant, c'est qu'il faut se défier des conséquences légèrement tirées des expériences ; qu'il faut observer avec le plus grand soin les phénomènes ; en étudier toutes les circonstances, et ne se prononcer qu'après avoir, comme le sage, tourné sept fois sa langue dans sa bouche.

Si ce sage précepte avait été plus tôt observé, les sciences physiques et naturelles ne seraient pas demeurées pendant de longs siècles stationnaires, mêlées aux grossières superstitions qui ont envoyé au bûcher tant de prétendus sorciers :

« Le thermomètre supérieur monte quand on chauffe le fond du vase », donc, vous hâtez-vous de conclure : l'eau conduit bien la chaleur. Et de même le jardinier : « La lune a brillé au ciel la nuit dernière, et mes laitues ont gelé ; donc la lune brûle les laitues.... »

Eh non, mon ami, la lune n'a pas brûlé tes laitues, mais ce qui a permis à la lune de briller, c'est l'absence des nuages dont l'écran aurait protégé ton jardin contre le froid des espaces célestes. Tu as pris l'effet pour la cause.

Eh non, mademoiselle, l'eau ne conduit pas bien la chaleur ; ce qui a fait monter le thermomètre.... Mais je ne veux pas que vous puissiez me dire : Il vaut mieux le croire que d'aller y voir. Je veux au contraire que vous ne croyiez qu'après avoir vu.

Projetez dans le vase chauffé par en bas de la sciure de bois (et à défaut de l'appareil dont je vous ai montré le dessin, la première cafetière transparente, chauffée par le fond, peut faire l'affaire), vous voyez un double courant de sciure se former à mesure que l'eau se chauffe, et indiquer que l'eau monte au centre et redescend sur les bords du vase.

Elle monte au centre, vous n'en êtes pas surprise, car chaque molécule, en se chauffant, devient une petite montgolfière. Vous voyez que l'eau, dans cette expérience, ne conduit pas la chaleur. Il serait plus juste de dire qu'elle la porte au haut du vase, comme la montgolfière porte aux nuages l'air chaud dont elle est remplie. Mais, arrivée en haut, chaque molécule d'eau chaude se refroidit, devient plus lourde, et redescend le long des parois du vase, toujours comme la montgolfière dont l'air s'est refroidi.

En réalité, l'eau est, comme presque tous les corps liquides, un mauvais conducteur de la chaleur, et je ne vous l'ai démontré si longuement que pour vous faire comprendre comment la plupart des préjugés sont sortis d'une expérience ou d'une observation mal faite.

Tel personnage, du quinzième ou du seizième siècle, est né au moment où Vénus était en opposition¹² ; louche, boiteux ou bossu, il n'a pas trouvé à se marier. Croyez-vous que c'est parce qu'il était louche, boiteux ou bossu ? l'astrologue vous aurait vite détrompé : c'est l'opposition de Vénus qui est cause de sa mésaventure.

Tel autre, phtisique au troisième degré, est mort à la fleur de l'âge. De sa phtisie ? — Pas le moins du monde. Il avait un ennemi, qui, s'étant procuré son image en cire, tous les jours enfonçait une aiguille dans la statue, à la place correspondante aux poumons. Demandez plutôt à l'envoûteur.

Alchimie, astrologie, envoûtement, sorcellerie, et tous les descendants que ces préjugés des siècles passés ont laissés dans le nôtre, ont une même origine. Une mauvaise observation des phénomènes de la nature ; et c'est surtout à vous apprendre à les bien observer, et à vous empêcher de mal les interpréter que ces Entretiens sont destinés.

Et, puisque le hasard de la conversation nous a conduits au moyen âge, je ne veux pas que a le quittions sans assister ensemble à l'un des spectacles dont les grossiers contemporains de cette époque étaient le plus friands.

Voyez-vous, autour de ce baquet, cette foule curieuse, et auprès, entre deux gens d'armes, cet homme pâle et blême sur qui tous les yeux sont attachés ? Le malheureux est accusé d'avoir assassiné son père. Est-ce vrai ? a-t-il en effet commis ce crime épouvantable ? Nous l'allons savoir bientôt, car voici le juge qui fend la foule, accompagné du bourreau.

Le juge ? je me trompe. Ce n'est pas un homme qui doit prononcer dans cette terrible affaire. L'accusé a accepté le jugement de Dieu.

Et voyez ! le bourreau fait, sur un réchaud, fondre du plomb qu'il verse dans le baquet de métal. Au fond de la masse en fusion, le juge vient de jeter une pièce de monnaie ; très pâle, mais très ferme, l'accusé retrousse sa manche : que va-t-il faire ?

Tous les yeux sont fixés sur lui, toutes les respirations sont suspendues ; une légère bruine qui commence à tomber n'a pas éloigné un seul des spectateurs du drame. Ils ne renonceraient pas, je crois, au spectacle, quand même, au lieu de pluie, les nuages enverraient sur leurs têtes ce plomb fondu où le criminel va plonger son bras.

Car c'est pour cela que le malheureux a retroussé sa manche. Mais qu'ai-je dit, criminel ! Il retire intact son bras de la fournaise ; il rapporte la pièce qu'on avait jetée au fond. Entendez-vous les hourras, les vivats de la foule ? L'accusé était innocent, c'est le jugement de Dieu !

Vous avez, pendant tout ce récit, ma chère enfant, eu des jeux de physionomie auxquels il est difficile de se méprendre. « Pourquoi, avez-vous pensé, me conter ce conte de ma mère l'oie ? Peut-on croire qu'un homme plonge, sans se brûler, son bras dans le plomb fondu ? sommes-nous au moyen âge ? »

Vous n'êtes pas au moyen âge, et n'en devez pas moins croire à ce qui est vrai, c'est-à-dire à la possibilité de plonger la main dans le plomb fondu. M. Boutigny, qui l'a fait, n'a pas plus que vous vécu au moyen âge ; il n'y a pas un demi-siècle qu'il a découvert la cause à laquelle quelques misérables ont dû, au moyen âge, de sortir vainqueurs de la barbare épreuve qu'on appelait le jugement de Dieu.

Vous n'êtes pas sans avoir remarqué le singulier phénomène qui se produit lorsque, ayant trempé ses doigts dans l'eau, on les secoue au-dessus d'un poêle.

Si le poêle est modérément chaud, les gouttes d'eau disparaissent en vapeur, avec un léger grésillement, aussitôt qu'elles touchent la fonte ; si le poêle est rouge, il semble qu'à plus forte raison les gouttes d'eau devraient se vaporiser instantanément. Mais il n'en est rien. Elles se mettent en boules, qui roulent sur la fonte avec une extrême rapidité, et ne disparaissent en vapeur qu'après un temps plus ou moins long.

Pendant qu'elles exécutent cette danse bizarre, les physiciens sont parvenus à reconnaître que ces boules d'eau (faites bien attention, car nous arrivons à l'explication du jugement de Dieu), que ces boules d'eau ne touchent pas la fonte sur laquelle elles roulent.

En prenant en effet de l'eau noircie et la faisant rouler sur une plaque d'argent chauffée au rouge, on peut, entre la plaque et la boule, apercevoir la flamme d'une bougie.

Dès lors tout s'explique.

Les boules d'eau, ne touchant pas la plaque, s'échauffent peu, et seulement peu à peu ; et, par suite, peuvent danser plus ou moins longtemps au sommet de cette espèce de nuage, sans se vaporiser, comme lorsque, aplaties sur la fonte chaude, elles en prennent tout à coup la haute température.

De même, quand notre prétendu parricide, dont une légère bruine (vous ne l'avez pas oublié) avait mouillé le bras, l'a plongé dans le plomb fondu, chacune des gouttes d'eau qui couvraient son bras, s'est enveloppée d'un nuage, et tous ces nuages ont formé autour de ce bras une enveloppe, une sorte de bouclier qui l'a préservé du contact du plomb fondu. Voilà comment, sans y laisser son membre jusqu'à l'os, il a pu aller au fond chercher la pièce.

Comme je vous le disais tout à l'heure, des savants ont eu de nos ours l'audace de répéter la terrible expérience, et la seule sensation qu'ils en ont eue, a été une sensation de fraîcheur causée par l'évaporation de l'alcool dont ils avaient eu soin de s'humecter la main avant de la plonger dans le plomb fondu.

Je n'insisterai pas davantage, et me bornerai à vous apprendre que l'eau qui se forme ainsi en boule sans se vaporiser est dite à l'état sphéroïdal, ou caléfiée, et que le phénomène lui-même s'appelle la caléfaction.

Et là-dessus, je ferme cette longue parenthèse et je reviens à l'objet principal de cet entretien, à la plus ou moins grande conductibilité des corps pour la chaleur.

Nous avons parlé des solides et des liquides ; mais ce sont les gaz dont le défaut de conductibilité nous rend les plus grands services.

Ils sont en effet tous mauvais conducteurs, à condition cependant qu'on gêne leurs mouvements. Il n'y a, vous le savez, rien de remuant comme un gaz, et si l'on permettait aux molécules échauffées d'aller à tort et à travers fraterniser avec celles qui ne le sont pas, elles leur auraient vite communiqué leur chaleur, sans que le gaz cesse pour cela d'être mauvais conducteur, de même que notre thermomètre montant tout à l'heure au haut du vase ne prouvait rien en faveur de la conductibilité de l'eau dans laquelle il était plongé.

Il faut donc empêcher le gaz de se mouvoir, et c'est à quoi l'on réussit en l'emprisonnant dans les mailles des étoffes de laine, entre les poils des fourrures, au milieu de l'édredon, ou bien encore entre les doubles vitrages par lesquels les peuples du Nord protègent leurs demeures.

Prenons l'édredon pour exemple. Vous entendez dire tous les jours : J'ai été mal cette nuit ; j'avais sur mon lit un édredon trop chaud.

C'est une très mauvaise expression. Quand on met dans un lit une boule d'eau chaude, on a raison de dire qu'elle est trop ou pas assez chaude ; mais le rôle de l'édredon est tout différent de celui de la boule.

Celle-ci chauffe la personne qui la touche, et chaufferait de même n'importe quel objet qu'on lui ferait toucher.

L'édredon, au contraire, ne chauffe pas ce qu'il couvre. Vous auriez beau entasser sur une bouteille d'eau froide une pile d'édredons, la bouteille n'en resterait pas moins froide. L'édredon agit simplement comme corps mauvais conducteur, pour empêcher de se perdre la chaleur de la personne qu'il recouvre.

Et voilà pourquoi les mêmes enveloppes d'édredon, de fourrure, de laine, qui servent, en hiver, à conserver la chaleur des personnes qui s'en revêtent, servent en été à conserver la glace.

En hiver, leur mauvaise conductibilité empêche de se perdre la chaleur du corps qu'ils protègent ; en été, elle empêche la chaleur du dehors de pénétrer jusqu'à la glace, qu'ils servent ainsi à conserver.

L'étude de la chaleur nous a fait faire, dans le cours de cet entretien, une incursion dans l'histoire du moyen âge : c'est en pleine antiquité que le prochain va nous conduire.

XXXVI^e ENTRETIEN

LA RÉFLEXION DE LA CHALEUR.

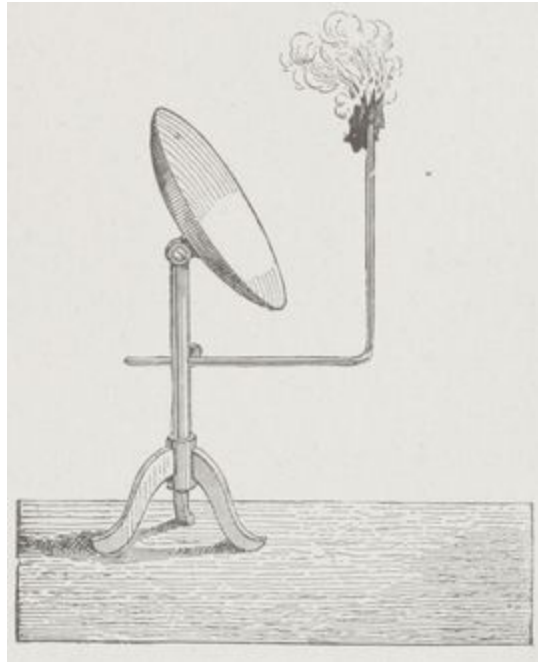
Vous avez lu qu'Archimède, assiégé par Marcellus dans Syracuse, incendia avec des miroirs les vaisseaux romains.

Incendier des navires avec des miroirs, voilà une opération navale à laquelle vous seriez tentée de donner pour théâtre les eaux de la Garonne plutôt que celles de la Sicile, si je ne vous indiquais immédiatement le moyen de la répéter vous-même, quoique en très petit.

Votre papa se rase-t-il avec un miroir grossissant ? Oui ? Tout est donc pour le mieux.

Présentez le miroir au soleil — bien en face (fig. 96). — Bien. — Prenez maintenant de l'autre main ce carré de papier noirci, et promenez-le devant le miroir, de manière à dessiner sur le noir du papier un rond lumineux. Voyez : selon crue vous approchez ou éloignez du miroir votre papier, le cercle lumineux devient plus ou moins grand, et en même temps remarquez qu'il devient d'autant plus brillant qu'il est plus petit.

Fig. 96.



On dirait que la lumière, à mesure que le cercle lumineux devient de plus en plus petit, se concentre tout entière sur un seul point, qu'elle rend si éclatant qu'on ne peut le fixer sans être ébloui.

Et l'on dirait bien. Toute la lumière qui se répandait tout à l'heure sur un grand cercle se concentre en effet maintenant sur un seul point brillant.

Et la chaleur fait comme la lumière. Et la preuve ? — Voyez : le papier vient de s'enflammer ; c'est bien, comme je vous l'avais annoncé, l'expérience d'Archimède en petit.

Tâchons maintenant d'expliquer pourquoi le papier et les vaisseaux romains s'enflamment.

Expliquer ! il ne vous faudrait pas, ma chère enfant, prendre ce mot dans un sens trop absolu, car il restera encore, après mes explications, bien des points d'interrogation. Essayons toujours de nous rendre du phénomène le compte le plus clair que nous pourrons.

Et d'abord ne vous semble-t-il pas extraordinaire, quand vous étendez vos mains devant le feu, à distance, que vos mains se chauffent ?

Je vous ai montré la chaleur se propageant de proche en proche dans une barre de métal ou dans un fer à repasser, bons conducteurs ; mais il n'y a ici rien de semblable : d'abord l'air est mauvais conducteur, et si c'était par lui et de proche en proche que la chaleur vous était transmise, votre main ne la ressentirait pas aussitôt que, même à une assez grande distance, elle se tend

vers le feu. De plus, si vous faisiez l'expérience dans le vide, votre main ne s'en chaufferait pas moins. Mais que dis-je, si vous faisiez ? cette expérience, vous la faites tous les jours, puisque pour arriver à la terre, les rayons de chaleur du soleil sont obligés de traverser le vide des espaces célestes.

Encore un mot — les rayons — lâché étourdiment. Qu'est-ce que les rayons de chaleur que le soleil nous envoie ? Ma foi, ma chère enfant, je n'en sais rien du tout. C'est un mot commode pour exprimer que la chaleur s'éloigne en ligne droite du corps chaud dans toutes les directions, à la façon des rayons d'une roue, ou mieux d'une boule, et le nom de chaleur rayonnante donné à cette chaleur dont les rayons partent de la source pour aller réchauffer les objets environnants, est un mot fort bien fait. Mais ne m'en demandez pas davantage. Pourquoi est, vous le savez, une question à laquelle l'homme peut rarement répondre. Qu'il vous suffise de retenir que la chaleur s'éloigne en ligne droite de la source d'où elle émane. Et vous le saviez bien avant que je ne vous le disse : car, en mettant un écran entre le feu et votre visage, chaque fois que le feu était trop ardent, vous étiez certaine que la chaleur rayonnante ne manquerait pas, à son habitude, de marcher en ligne droite, et ne contournerait pas l'écran pour atteindre votre visage.

Mais nous voilà un peu loin d'Archimède et des vaisseaux romains. Il faut y revenir.

Avez-vous jamais vu jouer au billard ?... Pardon, mon enfant, de tous ces détours qui me donnent l'air de Petit-Jean s'écriant : « Avant donc la naissance du monde.... » Mais je suis comme les enfants, qui font toutes sortes de grimaces quand il leur faut avaler un breuvage amer, car de vous jeter brutalement à la tête la loi de la réflexion du calorique, et l'angle d'incidence égal à l'angle de réflexion, autant vaudrait vous dire que je veux vous faire prendre en grippe ces entretiens.

Nous y viendrons pourtant, mais peu à peu.

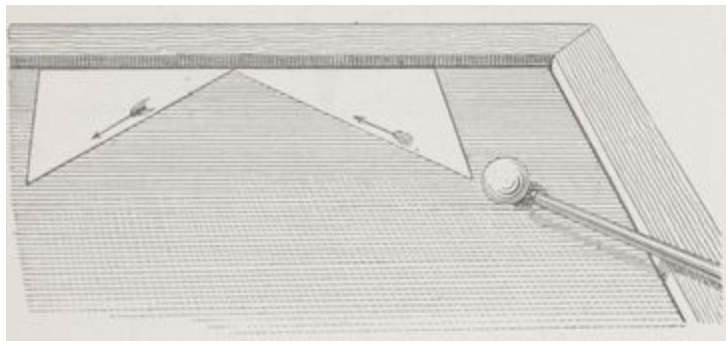
Donc, si vous avez vu jouer au billard, vous savez qu'une bille lancée contre la bande du billard est renvoyée par elle ; qu'elle rebondit contre la bande.

Dans quelle direction ?

Découpez l'une sur l'autre (fig. 97), pour qu'elles soient bien identiques, deux feuilles de papier en pointe, en coin ou angle, comme disent les géomètres, et appliquez-les toutes deux sur la table du billard, les pointes se

touchant, et les côtés de chaque papier qui sont taillés en pointe appliqués contre la bande.

Fig. 97.



Maintenant lancez la bille vers la bande de manière qu'elle suive le côté de l'angle du premier papier, et aille frapper la bande juste à la pointe, ou, comme disent les géomètres, au sommet de l'angle ; savez-vous quel chemin, après avoir touché la bande, la bille suivra pour s'en éloigner ? — Le côté de l'angle du second papier.

Mais puisque les deux papiers ont été découpés l'un sur l'autre, il faut bien que le premier angle soit égal au second ! — Le premier, c'est ce qu'on appelle l'angle d'incidence, du mot latin incidere, tomber sur, parce que c'est sous cet angle que la bille tombe en effet sur la bande. — Le second, suivant lequel la direction suivie d'abord par la bille s'infléchit, ou se réfléchit, à peu près comme votre image se réfléchit dans le miroir où vous vous regardez, c'est l'angle de réflexion, et vous voyez ainsi qu'au jeu de billard, l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion¹³.

Vous allez me dire : Mais c'est donc le jeu de billard que vous voulez m'apprendre ?

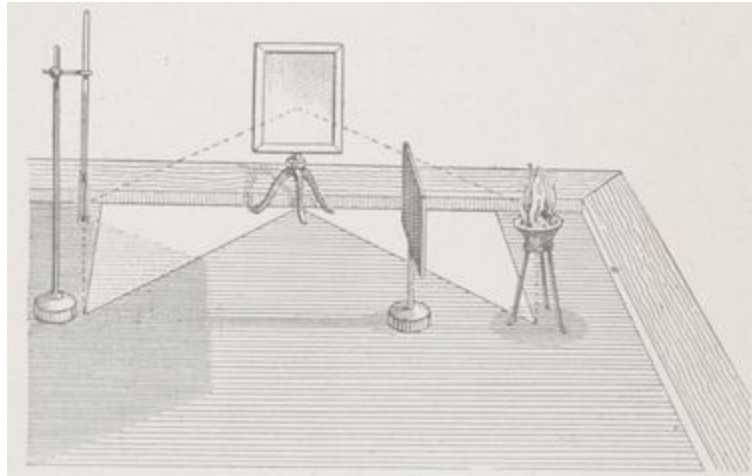
A peu près, car les directions suivies par la bille à l'aller et au retour, sont précisément celles que suivrait un rayon de chaleur qu'on lancerait dans la direction de la bille.

Croyez-vous que ce serait bien difficile ?

Dressons à la pointe commune des deux papiers (fig. 98), et appuyons à la bande du billard un miroir. Sur le côté du premier papier, plaçons un bol à punch où nous allumerons tout à l'heure de l'esprit-devin. Sur le côté du second papier suspendons un thermomètre très sensible. Enfin, pour être certain que le thermomètre ne sera pas échauffé par le rayonnement direct

de la flamme de l'alcool, interposons entre l'alcool et le thermomètre un écran. Allumons l'alcool maintenant ; voilà le thermomètre qui monte, et prouve que pour jouer au billard avec des rayons de chaleur, les règles sont les mêmes qu'avec des billes d'ivoire, car le trajet de la chaleur est exactement au-dessus de celui de la bille, et le suit point par point.

Fig.98.



Telle est, ma chère enfant, la loi de la réflexion de la chaleur, et j'en aurais fini avec cette question, si je ne l'avais commencée en vous rappelant les miroirs d'Archimède, dont l'expérience que nous avons supposée sur le billard ne donne pas encore l'explication.

Cette explication, je ne vais pas pouvoir vous la donner complète, mais j'espère au moins vous la faire entrevoir.

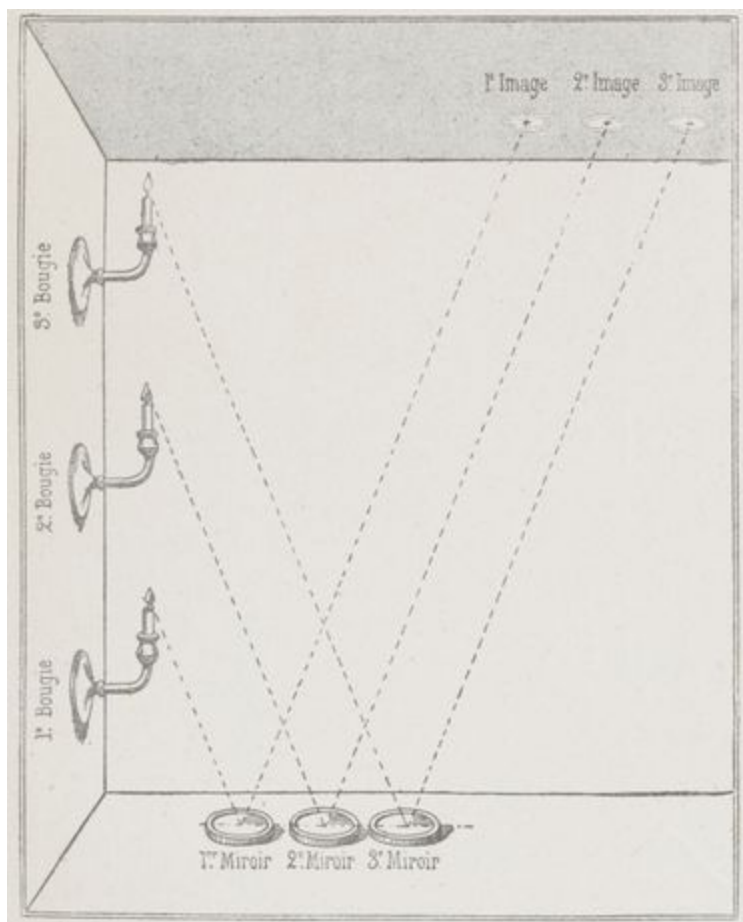
Que je vous dise d'abord que la lumière se comporte exactement comme la chaleur, et que lorsqu'il vous est arrivé de faire, avec un miroir, danser l'image du soleil sur la muraille, au plafond ou peut-être même dans les yeux de vos petites camarades, vous appliquiez, sans vous en douter, la loi de la réflexion de la lumière, qui est la même que celle de la chaleur. L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.

Dès lors, tout ce que je vous montrerai sur la lumière réfléchi par des miroirs sera vrai de la chaleur, et aura l'avantage de rendre visible à l'œil ce que vous seriez obligée de vous figurer par un effort d'intelligence.

Dans une chambre, dont les volets sont fermés, j'accroche au mur de gauche trois torchères, directement au-dessus l'une de l'autre ; puis je pose à terre, l'un à la suite de l'autre, trois miroirs, de manière que le rayon lumineux parti de la première bougie tombant sur le premier miroir, le

rayon envoyé par la deuxième bougie parallèlement au premier, tombe sur le deuxième miroir, et celui que lance la troisième bougie parallèlement aux deux premiers tombe sur le troisième miroir.

Fig. 99.



Il est évident que chaque miroir enverra au plafond un faisceau de lumière, qui y dessinera un rond éclairé. Nous aurons ainsi (fig. 99).

La première image correspondant à la première bougie, et renvoyée par le premier miroir ;

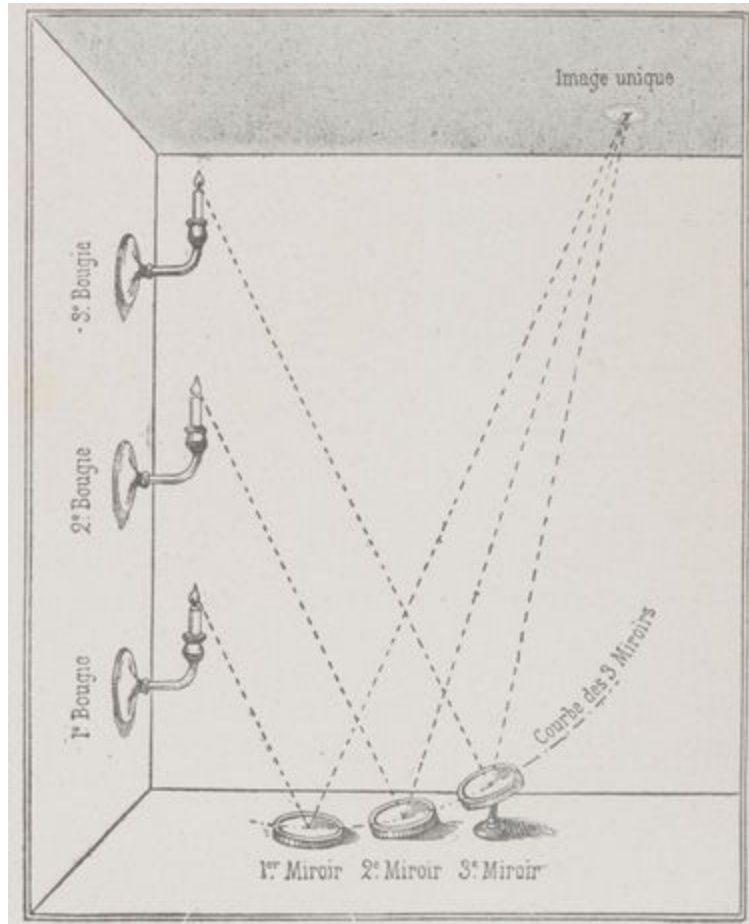
La deuxième image correspondant à la deuxième bougie, et renvoyée par le deuxième miroir ;

La troisième image correspondant à la troisième bougie, et renvoyée par le troisième miroir.

.Si maintenant nous inclinons vers la gauche le second et le troisième miroir, comme quand vous voulez faire danser la lumière au plafond, rien

ne nous sera plus facile que d'amener la deuxième image, puis la troisième, sur la première, de manière à n'avoir qu'une image unique.

Fig. 100.



Mais alors, regardez : les surfaces des miroirs ne sont plus dans le prolongement l'une de l'autre. Loin de là, elles dessinent une courbe, qu'il m'a été facile de suivre au compas.

Qui donc nous empêcherait, au lieu de trois miroirs dont les surfaces dessinent ensemble une courbe, de prendre un seul miroir dont la surface unique suivrait précisément la même courbe ? N'est-il pas évident que ce miroir ne donnerait pour les trois bougies qu'une seule image ; que, par conséquent, la lumière et la chaleur, — j'insiste sur la chaleur, — des trois bougies se concentreraient sur le point où se forme cette image unique (fig. 100) ?

Et maintenant, au lieu de trois misérables bougies, recevons sur le miroir grossissant de votre papa, qui est courbe (vous n'avez qu'à le tâter pour

vous en convaincre), les rayons du soleil, et concentrons, comme tout à l'heure, sur un papier noir les rayons réfléchis, vous ne devez plus être surprise que le papier s'enflamme.

Faites mieux encore : au lieu d'un miroir à barbe qui, tout petit, ne peut recevoir et par conséquent renvoyer que les rayons émis par une très petite portion de la surface du soleil, prenez le grand miroir concave d'Archimède ; ce n'est plus un morceau de papier, c'est la flotte romaine que vous incendierez comme lui.

Il y a, dans les explications qui précèdent, une particularité que j'ai répétée deux fois. Je ne sais, ma chère enfant, si vous l'avez remarquée.

Deux fois, vous parlant du moyen d'enflammer du papier au moyen d'un miroir concave, j'ai supposé que ce papier était noir.

Et en effet, si vous essayez d'enflammer une feuille de papier blanc, à moins que le miroir ne soit très grand et le soleil très ardent, ou vous n'y parviendrez pas, ou vous y mettrez beaucoup plus de temps qu'avec du papier noir.

Pourquoi cette différence ? Le papier noir est-il plus combustible que le papier blanc ? Nullement. Il y a là une cause très intéressante à étudier : car cette étude vous aidera à bien choisir, selon les circonstances, soit vos vêtements, soit certains ustensiles de ménage.

Quand le soleil, au mois de juillet, darde ses rayons sur un mur, que devient la chaleur qui frappe ce mur ?

Si vous passez auprès, vous serez tentée de croire qu'elle est tout entière réfléchie, tant vous vous sentirez échauffée vous-même du côté du mur.

Mais si, d'autre part, vous appliquez votre main sur la paroi du mur, vous penserez qu'il a absorbé toute la chaleur tombée sur lui, tant vous le trouverez chaud.

Vous aurez, ma chère enfant, tort et raison dans vos deux affirmations. Raison, car le mur a en effet réfléchi de la chaleur et il en a absorbé ; tort, car, par cela même, il ne peut l'avoir, ni toute absorbée, ni toute réfléchie.

Tous les corps possèdent, à des degrés divers, le pouvoir de réfléchir et le pouvoir d'absorber la chaleur, et le bon sens autant que l'expérience apprennent que, plus le pouvoir absorbant est développé dans un corps, moins ce corps possède le pouvoir réfléchissant ou réflecteur. Il est clair en effet que, plus un corps absorbe de la chaleur qui tombe sur lui, moins il lui en reste à réfléchir.

En général¹⁴, les corps blancs ont à un haut degré la propriété de réfléchir la chaleur, et par conséquent leur pouvoir absorbant est faible ; c'est le contraire pour les corps noirs : voilà pourquoi nous avons choisi du papier noir quand nous avons voulu l'enflammer au soleil à l'aide d'un miroir. Le papier blanc, au contraire, réfléchissait, renvoyait une grande partie de la chaleur qui, du miroir, tombait sur lui. Par suite il n'arrivait que difficilement à en absorber assez pour s'enflammer.

Je vous disais tout à l'heure que les pouvoirs absorbant et réfléchissant trouvent leur application dans certains ustensiles de ménage. Supposez, en effet, que vous vouliez faire chauffer de l'eau devant le feu, dans une cafetière : il est clair que, plus cette cafetière absorbera de la chaleur du foyer, plus vite l'eau se chauffera. Il faut donc choisir les cafetières en terre brune de préférence à celles en terre blanche.

Au contraire, les parois de la cheminée d'un salon doivent être évidemment disposées de manière à renvoyer, à réfléchir dans la pièce la plus grande partie possible de la chaleur qui tombe sur ces parois. C'est donc à tort que dans beaucoup de cheminées les faces évasées qui sont encadrées par le marbre et regardent la chambre sont en tôle noire. C'est en faïence blanche qu'il convient de les faire, ou bien en cuivre poli, ce métal et, en général, les métaux polis ayant un grand pouvoir réflecteur et, par suite, un faible pouvoir absorbant.

Et les habits, de quelle couleur faut-il les porter, suivant les saisons ? C'est vous-même, mon enfant, qui allez le dire :

Voyons : en été d'abord ?

La couleur qui convient le mieux à cette saison est évidemment celle qui repoussera le plus, qui absorbera le moins de la chaleur de l'atmosphère. C'est donc de blanc qu'il convient de s'habiller en été et dans les pays chauds.

C'est à merveille, et vous savez que, sans être ferrés sur les pouvoirs réflecteur et absorbant, les Arabes suivent d'instinct cette règle.

Les burnous dont ils s'enveloppent des pieds à la tête, — la tête comprise, — sont de laine blanche. Le faible pouvoir absorbant dû à la couleur blanche empêche la chaleur du soleil africain de les pénétrer, et le peu qui pénètre la surface est arrêté par la mauvaise conductibilité de la laine.

Au printemps, en automne et, en général, dans les climats tempérés, la chaleur solaire étant au contraire la bienvenue, les vêtements doivent avoir

le pouvoir absorbant le plus grand, le pouvoir réflecteur le plus petit possible. Ce sont donc les vêtements noirs qui conviennent à ces saisons et à ces climats.

Restent l'hiver et les climats de la zone glaciale.

Là, la nature a revêtu les animaux de fourrures ou de plumages blancs, comme l'ours blanc des côtes de la mer Glaciale, et le Cygne, dont le séjour de prédilection est la Laponie, la Norvège et l'Islande. Mais elle a fait mieux : à certains animaux de, la zone glaciale elle a donné des habits d'hiver et des habits d'été, et toujours elle a fait blancs ceux d'hiver.

Les lièvres de Laponie, par exemple, qui, en été, sont de la couleur des nôtres, deviennent blancs en hiver ; l'hermine elle-même, dont la couleur est devenue, comme celle du cygne le type de la blancheur,

« Plus blanche que la blanche hermine, »

n'est blanche que pendant l'hiver.

L'exemple de ces animaux, dont la nature n'a pas en vain choisi les vêtements, nous indique que les nôtres devraient être blancs en hiver. Nous avons déjà vu qu'il doivent l'être aussi en été. Il y a là une anomalie apparente qu'il importe d'expliquer.

Pour cela, il suffit de se rappeler que la température du corps des animaux est, en hiver et dans les pays froids, beaucoup plus élevée que celle de l'atmosphère. Le rôle des vêtements d'hiver doit donc être d'empêcher la chaleur naturelle du corps de se perdre.

Or, aux pouvoirs absorbant et réflecteur dont jouissent les corps, s'en ajoute un autre : le pouvoir d'envoyer au dehors d'émettre la chaleur, le pouvoir émissif, pour lui donner le nom dont l'appellent les physiciens.

Voici, par exemple, deux cafetières identiques, toutes deux en argent poli. Sur l'une j'étends une légère couche de noir de fumée, tandis que je laisse à l'autre tout son brillant, puis je les remplis toutes deux d'eau bouillante et je les abandonne en plein air. Si je reviens les voir au bout d'une heure, l'une sera presque froide, celle dont les parois sont recouvertes de noir de fumée, l'autre, celle dont la surface est restée brillante, assez chaude pour que je puisse à peine y tenir la main.

Cette expérience, que vous pouvez faire vous-même, vous fera comprendre ce que c'est que le pouvoir émissif. La cafetière revêtue de noir de fumée a un grand pouvoir émissif : elle a émis, renvoyé, perdu la chaleur que lui communiquait l'eau chaude, et celle-ci s'est rapidement refroidie. La cafetière brillante, au contraire, a un faible pouvoir émissif. Elle n'a pas émis, perdu la chaleur qu'elle recevait de l'eau, et celle-ci est restée chaude.

Et maintenant, quand je vous aurai dit que le pouvoir émissif d'un corps (c'est l'expérience qui l'a prouvé) est précisément égal à son pouvoir absorbant, je veux dire que les corps qui émettent le mieux la chaleur, qui la perdent le plus facilement au dehors, sont précisément ceux qui l'absorbent aussi le mieux, qui la laissent le mieux pénétrer en eux, vous comprendrez pourquoi la couleur qui convient aux vêtements des Arabes est aussi celle qui convient aux fourrures des Lapons. Le blanc empêche la chaleur africaine de rôtir l'Arabe, et la chaleur naturelle du Lapon de se perdre dans l'atmosphère de la mer Glaciale : l'hermine et le lièvre de Sibérie, que les froids terribles de ces pays gèleraient, si leur fourrure blanche ne retenait comme en prison leur chaleur naturelle, prennent, quand le froid diminue, une couleur plus foncée qui laisse cette chaleur se répandre au dehors.

Et maintenant, ma chère enfant, que nous nous sommes demandé ce que c'est que la chaleur (question malheureuse, puisque nous n'y pouvons pas répondre), puis comment on la mesure (et ici nous avons été plus heureux), enfin quels sont ses effets, comment on l'emmagine, comment on s'en préserve quand elle devient incommode, comment, au contraire, on la conserve quand elle nous est utile, il ne nous reste plus qu'à chercher d'où elle vient, quelles en sont les sources principales. Ce sera l'objet du prochain entretien.

XXXVII^e ENTRETIEN

SOURCES DE CHALEUR

D'où vient la chaleur ? D'abord et avant tout, du soleil.

Et d'où le soleil la tire-t-il lui-même ? A cette seconde question, vous me permettez de ne pas répondre, et pour cause. C'est déjà joli qu'on ait pu mesurer approximativement la chaleur que le soleil lance à la terre, et reconnaître qu'en un an, elle pourrait fondre une couche de glace de 31 mètres d'épaisseur enveloppant la surface entière de notre globe.

Cette énorme chaleur est employée à entretenir la vie de tous les êtres qui habitent les planètes. Sans elle, plantes et animaux ne tarderaient pas à périr.

Parmi les plantes, il en est, vous le savez, que la nature a faites pour végéter sous les ardentes latitudes des tropiques, et que notre industrie réussit à faire vivre jusque dans les climats brumeux de Paris ou même de Londres.

C'est à leur procurer artificiellement la chaleur que la nature leur refuse sous nos latitudes que servent les serres.

Une serre, c'est une de ces maisons comme en souhaitait je ne sais plus quel philosophe, qui disait : « Je voudrais que ma maison fût de verre ». Mais les services que les parois de verre rendent aux plantes qu'elles abritent ne sont pas les mêmes que ceux qu'en attendait le philosophe. C'est la lumière que celui-ci voulait laisser pénétrer chez lui, afin que chacun pût vérifier la pureté de sa vie ; c'est la chaleur dont les plantes demandent au verre le libre passage.

Lumière, chaleur, deux sœurs qui, si elles ne sont pas inséparables, se montrent du moins le plus souvent ensemble. Et quand je dis se montrent, j'emploie une expression impropre. La lumière se montre toujours, mais la chaleur se produit quelquefois sans qu'on puisse l'apercevoir.

On l'appelle alors chaleur obscure, et, en attendant que l'étude du spectre solaire me permette de vous faire faire avec cette chaleur obscure plus ample connaissance, je puis tout de suite vous dire une singulière propriété de cette chaleur obscure.

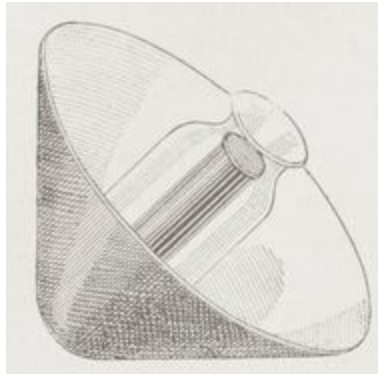
Quand un rayon de soleil se présente devant une maison de verre, il n'a pas besoin de porte pour y entrer : il passe librement à travers le verre, et introduit avec lui dans la maison ses deux compagnes, la lumière et la chaleur.

Là, chacune se livre à ses occupations ordinaires. La lumière éclaire la maison et les objets qui s'y trouvent ; la chaleur les chauffe, et aussitôt chauffé, chacune se met à rayonner dans tous les sens, et, cette chaleur rayonnante frappant les parois en verre, tente naturellement de ressortir comme elle est entrée. Mais voilà justement la propriété en question de la chaleur obscure : C'est en vain qu'elle frappe aux parois ; le verre, qui l'a laissée entrer aussi facilement que la lumière, l'arrête cette fois et la retient prisonnière, en sorte qu'une nouvelle quantité de chaleur entrant avec chaque nouveau rayon de soleil, et la provision ne s'épuisant pas, la température de la serre s'élève graduellement assez haut pour faire vivre et prospérer à Paris, par exemple, des plantes faites pour habiter les bords du Sénégal.

Tout le monde connaît, au moins pratiquement, cette propriété du verre, qui est utilisée non-seulement dans les serres, mais encore dans les vérandas. Mais un savant a, dans ces dernières années, élevé plus haut ses ambitions. M. Mouchot a eu l'idée d'emprisonner et d'emmagasiner la chaleur solaire au point de la faire servir aux usages de l'industrie et du ménage, et son appareil est si simple, que je ne résiste pas à l'envie de vous en montrer un dessin.

C'est tout simplement un grand cornet argenté à l'intérieur (fig. 101), dont on présente l'ouverture au soleil. La surface argentée, douée, comme vous le savez, d'un grand pouvoir réflecteur, renvoie la chaleur vers l'axe du cornet où M. Mouchot a placé l'espèce de cafetière où il se propose de faire chauffer son eau.

Fig. 101.



Cette cafétière est en cuivre mince ; et, comme il fallait la rendre aussi propre que possible à absorber la chaleur du soleil, on a enduit de noir de fumée sa surface extérieure.

Enfin, la serre où M. Mouchot l'a enfermée est un cylindre de verre qui laisse entrer la chaleur et ne la laisse plus sortir.

Avec un cornet de 50 centimètres de diamètre et un cylindre de cuivre d'une capacité d'un quart de litre, on peut, par un beau soleil, faire bouillir l'eau en 15 ou 20 minutes.

Voilà, n'est-il pas vrai, une belle économie de combustible, au moins pour les pays chauds. Sans arriver à faire bouillir l'eau, on peut, en tout pays, utiliser la propriété du verre et de la chaleur obscure, non seulement dans les serres, mais encore sous les châssis et les cloches de verre où les maraîchers abritent leurs plantes délicates.

Je ne vous dirai que deux mots d'une autre source de chaleur, naturelle, comme celle du soleil, mais que nous ne pouvons pas, du moins à volonté, faire servir à notre usage : c'est la chaleur intérieure de la terre.

Il y a de très fortes raisons de croire qu'autrefois (par autrefois je n'entends pas du temps des Grecs et des Romains, mais plusieurs centaines de mille ans avant eux), la terre était tellement chaude que tous les corps situés à sa surface étaient en fusion.

Peu à peu elle s'est refroidie, et, naturellement, c'est la surface qui a commencé par se refroidir, mais il est plus que probable que l'intérieur n'est pas encore solidifié, et que, sous la croûte résistante que nous foulons, frémit encore une énorme quantité de matières liquides et brûlantes.

Quand nous lisons dans les journaux que des torrents de lave descendent du sommet du Vésuve ou de l'Etna, menaçant de submerger et d'engloutir une nouvelle Pompéi, nous ne disons plus, comme les poètes anciens, que

ces matières brûlantes sortent des forges de Vulcain, ou qu'en se retournant Encelade ébranle le volcan sous lequel il est étendu, mais nous pouvons avec beaucoup de vraisemblance admettre que cette lave provient des régions souterraines, où les matières encore en fusion, poussées par la pression des gaz qui s'en dégagent, jaillissent du cratère comme l'eau du réservoir d'air de la pompe foulante.

Quand nous voyons, dans les Pyrénées, les sources thermales jaillir à 40, à 50, jusqu'à 90 degrés centigrades, comment douterions-nous que ces sources n'aient puisé dans les cavernes où elles se forment, la chaleur dont nous les voyons pourvues ?

Chaleur bienfaisante, quand elle s'emploie à chauffer le bain qui nous apporte la santé, terrible quand elle fait bouillir la lave qui brûle les forêts, emporte les récoltes, engloutit les villages. En tout cas chaleur dont il nous est interdit de régler l'intensité et la direction, et que nous sommes réduits à utiliser passivement quand la nature nous l'offre sous sa forme bienfaisante, à subir quand elle la fait, du haut des volcans rouler sur nos moissons en torrents dévastateurs.

Il n'en est pas de même des sources de chaleur dont il me reste à vous parler. Celles-là sont à la disposition de l'homme, et, parmi les nombreux habitants de la terre, de l'homme seul, car les naturalistes n'ont trouvé jusqu'ici, en dehors de lui, aucun animal qui connût l'usage du feu.

Le feu ! Qu'est-ce que le feu ? Est-ce un être ayant une existence propre, comme l'eau ou comme l'air ? Est-ce simplement un phénomène, une manière d'être des corps, une manifestation de leurs attractions ou de leurs répulsions ?

Longtemps on a cru que le feu était un être spécial, les anciens physiciens en faisaient un des quatre éléments. Les trois autres étaient la terre, l'eau et l'air, et, j'ai déjà eu occasion de vous le dire, pas un des quatre n'était un élément.

Depuis Lavoisier, un grand chimiste qui vivait à la fin du dernier siècle, on sait que ce qu'on appelle vulgairement le feu n'est pas un corps, mais l'union, la combinaison de tous les corps (du moins de tous les corps combustibles) avec un gaz qu'on appelle l'oxygène. Cette combinaison est la combustion.

Il y a pourtant une restriction : pour que cette combinaison produise le feu, et devienne la combustion, il faut qu'elle ait lieu à une haute

température, en sorte que, chercher à se procurer le feu, revient à rechercher les sources de chaleur.

Il y en a de plusieurs espèces, et l'usage vous en a fait connaître la plupart.

Et d'abord, le frottement. On vous a conté assurément qu'en frottant vigoureusement deux morceaux de bois sec l'un contre l'autre, les sauvages les enflamment. Vous avez peut-être même essayé, et, dans ce cas..... vous n'avez pas réussi.

Il faut en effet, à supposer même que l'histoire ne soit pas un conte, des bras de sauvages pour donner au frottement une énergie capable d'enflammer le bois. Mais un frottement de civilisé, — le vôtre, mademoiselle, — suffit, vous le savez, à enflammer une allumette, qui, enduite de phosphore, n'exige pas, pour prendre feu, la même élévation de température que les morceaux d'écorce des Apaches ou des Comanches ; le frottement de l'essieu contre la boîte de roue mal graissée d'une voiture suffit pour mettre le feu à la roue, et si vous essayiez une fois de poser le doigt sur un clou qu'on vient de limer, vous vous brûleriez assez fort pour ne pas oublier de votre vie que le frottement est une source de chaleur. Si jamais vous entrez dans un atelier où des machines sont en train de raboter le fer, vous verrez que le mécanicien a eu soin de conduire sur l'outil un courant d'eau froide, qui empêche l'outil de s'échauffer outre mesure et de se détremper, et, en voyant fumer l'eau qui le baigne, vous verrez quelle chaleur développe le frottement de l'outil contre le métal.

Fig. 102.



Cette chaleur, développée par le frottement, le serait par toute autre action mécanique.

Elle le serait par le choc de cet anneau de fer contre ce morceau de silex (fig. 102), et la chaleur dégagée serait suffisante pour rougir les fragments

de fer détachés par le choc du silex, et leur faire allumer l'amadou sur lequel ils tombent.

C'est le briquet que vous avez vu cent fois entre les mains des fumeurs.

Elle l'était par la compression de l'air brusquement refoulé par un piston au fond du cylindre de l'ancien briquet à air, aujourd'hui détrôné par les allumettes.

Elle l'est en un mot par tout travail mécanique, et c'est une loi que je regrette de ne pouvoir vous développer davantage, que tout travail mécanique se transforme en chaleur, et que réciproquement toute chaleur peut se transformer en travail mécanique.

C'est grâce à elle que, au moyen du briquet, des allumettes chimiques ou de toute autre action mécanique, nous faisons jaillir la flamme dans nos cheminées ou nos poêles. Reste alors à entretenir la combustion.

Quand les Lapons se construisent une hutte, ils ont soin de laisser un trou au toit ; au-dessous du trou, et au milieu de la chambre, ils allument leur feu. Voilà, en fait de cheminée, tout ce qu'ils connaissent. Ce système primitif remplit en un instant la chambre d'une fumée épaisse, qui concourt avec l'éclat de la neige à rendre aveugles les misérables habitants de ces pays désolés.

Au point où vous en êtes de l'étude des gaz et de leurs propriétés, j'espère, ma chère enfant, que vous voyez bien toute seule pourquoi il ne suffit pas d'un trou au plafond pour faire envoler la fumée d'un feu allumé sous le trou. Mais vous le verrez encore mieux quand nous aurons étudié ce qui se passe dans nos cheminées perfectionnées, en même temps vous apprendrez les conditions à remplir par une bonne cheminée, et, si plus tard devenue maîtresse de maison, vous habitez une pièce où la cheminée fume, vous saurez indiquer vous-même au fumiste ce qu'il faut faire pour la guérir.

Je n'ai pas besoin de vous décrire une cheminée. C'est un espace ouvert dans la pièce à chauffer, une espèce de petite chambre, qu'un tuyau vertical, montant jusqu'au-dessus du toit, met en communication avec le dehors.

Dans cet espace, dans cette petite chambre, on allume le combustible, et la fumée s'envole, — ou doit s'envoler, — par le tuyau.

Quels sont les phénomènes dont la cheminée et le tuyau sont le théâtre ?

Vous savez déjà que la combustion n'est autre chose que la combinaison avec le combustible de l'un des gaz dont le mélange constitue l'air, et qu'on appelle l'oxygène. Cette combinaison a lieu avec un grand développement

de chaleur, et c'est cette chaleur que nous employons à chauffer nos appartements.

Mais cette combinaison ne détruit, n'anéantit ni le combustible, ni l'oxygène. Anéantir est un mot aussi impossible à comprendre que le mot créer. La matière ne se détruit pas plus qu'elle ne se crée. Si vous brisez une table, vous ne détruisez pas de la matière : vous transformez une table en morceaux de bois, comme le menuisier qui l'avait faite, avait transformé des morceaux de bois en table. Rien ne se perd : tous les atomes d'oxygène, d'hydrogène, de charbon, de phosphore, etc., qui, réunis, constituaient jadis le corps d'Alexandre le Grand, existent, répandus dans le vaste univers. Qui sait ? peut-être un morceau de son phosphore est-il au bout de l'allumette avec laquelle vous venez d'enflammer votre foyer, et un atome de son charbon dans la bûche qui commence à pétiller dans la cheminée.

Si ce charbon a résisté à tous les assauts qu'il a dû subir depuis la mort d'Alexandre, vous pensez bien, ma chère enfant, que ce n'est pas pour périr dans votre cheminée.

Non ; dans votre cheminée, il va simplement subir une nouvelle transformation, et devenir.... Mais le récit de sa transformation sera peut-être un peu long : j'aime mieux le renvoyer au prochain entretien.

XXXVIII^e ENTRETIEN

LE CHAUFFAGE DES APPARTEMENTS

Nous en étions restés au moment où une parcelle du corps d'Alexandre le Grand, incorporée dans la bûche que voilà au fond de votre cheminée, allait s'y combiner, ou, comme dit M. Jean Macé dans son langage pittoresque, se marier avec l'oxygène, et nous nous demandions ce qui allait sortir de cette combinaison.

Il en sort, il en résulte plusieurs gaz dont je vous nommerai seulement deux, parce que ces deux gaz sont les ennemis de l'homme, et qu'il est bon de connaître ses ennemis pour s'en méfier, quand on les rencontre.

L'un de ces ennemis s'appelle l'acide carbonique.

C'est un vilain gaz qui ne se laisse respirer ni par les hommes, ni par les animaux. Ceux qui s'y risquent meurent asphyxiés, et quand je parle de ceux qui s'y risquent, je me sers d'un mot impropre, car c'est une épreuve qu'on ne subit en général qu'involontairement et sans s'en douter.

Quand vous entendrez dire, par exemple, qu'un vigneron, en se penchant sur sa cuve pour en surveiller la fermentation, a tout à coup perdu connaissance, vous saurez que ce malheureux a été asphyxié par l'acide carbonique qui se dégage de la vendange en fermentation.

C'est encore à l'acide carbonique qu'est due l'espèce de léthargie de cet imprudent qui s'est endormi dans son fauteuil auprès d'un brasero, et si jamais vous vous trouvez assister à de pareils accidents, votre premier soin, en attendant l'arrivée du médecin, doit être de faire porter au grand air les asphyxiés. Si l'asphyxie n'a pas duré trop longtemps, il y a des chances pour qu'ils reviennent d'eux-mêmes à la vie.

Il y en a toutefois plus pour le vigneron asphyxié par la cuve, que pour l'homme au brasero.

C'est que, contre celui-ci, à l'acide carbonique s'est joint le second gaz ennemi de l'homme que produit la combustion du charbon, l'oxyde de carbone.

Et ce nouveau gaz est autrement dangereux que le premier. Si l'acide carbonique, en effet, n'est pas respirable, l'oxyde de carbone est, de plus,

un poison contre lequel il ne suffit pas d'avoir recours au grand air, mais dont l'action doit être combattue par une médication énergique et souvent impuissante.

Vous voyez, ma chère enfant, de quelle importance il est que les cheminées enlèvent de nos appartements ces gaz funestes. Auprès des ravages qu'ils y feraient, les inconvénients des petites parcelles de charbon non brûlé qu'ils entraînent avec eux sous le nom de fumée, et qui salissent les rideaux et les meubles, sont en effet peu de chose.

Mais pourquoi les gaz et la fumée montent-ils dans la cheminée ? Sont-ils plus légers que l'air qui la remplissait avant que le feu y fût allumé ? Ouvrons une table de densités : celle de l'oxyde de carbone est à peu de chose près la même que celle de l'air¹⁵. Quant à l'acide carbonique, vous ne douterez pas qu'il ne soit beaucoup plus pesant que l'air, dès que je vous aurai dit ce qui se passe dans la grotte du Chien.

Elle doit son nom à cette particularité bizarre que, tandis qu'un homme peut s'y promener impunément, il ne peut s'y faire suivre de son chien sans voir la pauvre bête tomber et périr avec tous les symptômes de l'asphyxie.

Ce phénomène, longtemps mystérieux, a cessé de l'être dès que les chimistes ont analysé les gaz de la grotte. Ils ont trouvé en effet la partie supérieure de la grotte, celle où est la tête de l'homme, remplie d'air respirable, tandis qu'en bas, à la hauteur où le chien respire ou du moins voudrait respirer, rampe une couche d'acide carbonique.

Ce gaz est tellement lourd (plus d'une fois et demie plus lourd que l'air), que son excès de densité compense la tendance qu'il partage avec tous les autres gaz à remplir tout l'espace où il est répandu ; l'acide carbonique et l'air se comportent alors comme deux liquides de densité différente, et se superposent sans se mêler.

Voilà, ma chère enfant, des propriétés qui, loin d'expliquer l'ascension dans nos cheminées des gaz de la combustion, semblent les destiner plutôt à redescendre.

Pourquoi donc montent-ils ?

Et pourquoi montent les montgolfières ? Parce que l'air chaud est plus léger que l'air froid ; que dis-je ? parce que même l'acide carbonique chauffé est plus léger que l'air froid. — Je vous entends ; si c'est aussi simple que cela, pourquoi y a-t-il des cheminées, pourquoi même y a-t-il beaucoup de cheminées qui fument ?

Avant de répondre à cette question, je voudrais, ma chère enfant, vous donner une idée nette de ce qu'on appelle le tirage de la cheminée. Vous connaissez assurément le mot ; vous avez dit : la cheminée tire, ou ne tire pas. Mais il faut vous rendre un compte exact de la chose.

Nous retrouvons ici nos petits lutins de la pesanteur et ceux de la poussée, et leur éternelle rivalité.

Voici une cheminée allumée et en pleine activité. Tout le tuyau (on dit aussi le canon) est plein de ce mélange de gaz qui provient de la combustion, et que pour plus de simplicité nous appellerons de l'air chaud. Ces gaz représentent donc au naturel une montgolfière, dont la force ascensionnelle est, comme pour toutes les montgolfières, la différence du poids de l'air chaud au même volume d'air froid. Je n'ai pas, je suppose, à insister sur cette explication : vous n'avez pas oublié la vision d'Archimède, vous savez que, si les lutins de la pesanteur, dont les forces réunies valent le poids de la montgolfière, travaillent à la faire tomber, les lutins de la poussée, dont les forces réunies valent le poids de l'air déplacé par la montgolfière, travaillent à la faire monter. Enfin vous avez conclu évidemment de là que, plus la montgolfière est grosse, plus est grande la différence entre le poids de l'air déplacé et celui de la montgolfière.

Appliquez maintenant ces raisonnements à la montgolfière qui monte dans la cheminée, je veux dire à l'ensemble des molécules d'air chaud, qui, bien que sans enveloppe de papier, sont cependant forcées de rester agglomérées, par la barrière que leur opposent les parois de la cheminée : vous voyez que la cheminée tirera d'autant mieux, c'est-à-dire que l'air chaud y aura d'autant plus de force ascensionnelle que la montgolfière sera plus grande. Et comment, pour une cheminée donnée, pouvez-vous augmenter le volume de la montgolfière ?

En augmentant la hauteur du tuyau.

D'où cette conséquence : qu'une cheminée tire d'autant mieux qu'elle est plus haute.

L'expérience a prouvé qu'il faut un tuyau d'au moins 5 mètres de haut, pour qu'une cheminée tire bien.

J'ai, vous le savez, ma chère enfant, l'habitude de ne laisser place à aucune confusion dans votre esprit. Ce que je ne peux pas vous expliquer, j'y renonce, mais je ne veux pas que vous compreniez à moitié.

Or, quand je vous ai demandé comment on pourrait augmenter la montgolfière qui monte dans la cheminée, et répondu : en augmentant la

longueur du tuyau, vous auriez pu me dire : « on augmenterait aussi le volume de la montgolfière en élargissant le tuyau », d'où il faudrait conclure que la cheminée tire d'autant mieux que le tuyau est plus large.

Cette conclusion est radicalement fausse, et voici pourquoi :

Sans doute, mon assimilation à une montgolfière de l'air chaud qui monte dans la cheminée est juste, mais pas absolument. Dans la montgolfière, l'air chaud, emprisonné dans une enveloppe, est partout à la même température. Dans la cheminée, le foyer ne peut échauffer qu'une étroite colonne verticale. Tout autour de cette colonne, pour peu que la cheminée soit large, l'air se refroidit ; dès lors, il ne tend plus à monter, et, par son frottement avec la colonne centrale chaude, il l'arrête, et par conséquent nuit au tirage.

Par cette raison, il faut tenir étroits les tuyaux.

C'est la condition que remplissent le plus rarement les cheminées des vieilles maisons, car on croyait autrefois ne pouvoir laisser jamais trop de place aux gaz, et c'est pour cela que la plupart fument.

Voilà donc déjà pour les cheminées deux raisons de fumer : hauteur insuffisante, largeur exagérée.

Il y en a une troisième, et comme elle tient à l'hygiène des appartements, il importe de vous la faire connaître.

Puisque la combustion est la combinaison du combustible avec l'oxygène de l'air, il ne saurait y avoir combustion sans oxygène.

Supposez donc une pièce hermétiquement close, des papiers collés sur les joints des portes et des fenêtres, et allumons-y du feu : l'oxygène consommé par la cheminée ne pouvant se renouveler, l'air est bientôt raréfié dans la pièce, et n'a plus la tension nécessaire pour pousser dans la cheminée la fumée qui se répand dans la chambre.

C'est un effet analogue qui se produit, quoique à un degré moindre, dans les pièces trop bien closes, et comme l'oxygène, nécessaire à la combustion qui a lieu dans la cheminée, ne l'est pas moins à celle qui, sous le nom de respiration, se fait dans vos poumons, vous voyez que les cheminées contribuent à l'aération, et par suite à la salubrité des pièces qu'elles chauffent. Malheureusement, cette aération ne se fait le plus souvent que par les joints des portes et des fenêtres ; c'est de l'air froid qu'elle fait pénétrer dans les appartements ; en sorte que, par l'appel d'air froid qu'elle détermine, la cheminée se charge elle-même de faire perdre à la chambre une partie de la chaleur qu'elle y apporte.

On remédie à ce défaut en adaptant aux cheminées des bouches de chaleur, c'est-à-dire des appareils qui, échauffant derrière le foyer et à son contact, de l'air pris au dehors, l'envoient, chaud, dans la chambre. Mais, même pourvues de bouches de chaleur, les cheminées sont, pour les pays froids, des appareils de chauffage insuffisants, et c'est par des poêles en faïence qu'on les y remplace. J'ai dit poêles en faïence. Les poêles en faïence sont en effet de beaucoup préférables aux poêles en fonte. Ils s'échauffent lentement, mais se refroidissent lentement aussi, et peuvent, longtemps encore après qu'ils sont éteints, rayonner une douce chaleur.

Mais là ne se borne pas leur supériorité sur les poêles en fonte. Ceux-ci rougissent, et ce rougissement entraîne des inconvénients qui peuvent devenir un véritable danger. C'est pourquoi vous me permettrez, ma chère enfant, d'insister en quelques mots sur ce danger, généralement peu connu.

Tout le monde sait que lorsqu'un poêle en fonte rougit, les habitants de la pièce éprouvent des douleurs de tête, quelquefois d'estomac, des étourdissements ; ces malaises sont généralement attribués à l'excès de la chaleur.

Ils ont une autre cause, et la preuve, c'est que, si l'on chauffe la chambre à la même température par un poêle en faïence qui ne rougit pas, on peut y rester sans les éprouver.

Ces malaises ont pour cause un véritable empoisonnement dont l'analyse de l'air de la chambre a fait découvrir la cause.

Vous savez que, lorsqu'un rayon de soleil pénètre par la fente d'un volet dans une chambre fermée, la poussière en suspension dans l'air qu'éclaire le rayon de soleil, dessine ce rayon, le rend visible à l'œil.

Il est clair que, si nous n'apercevons la poussière que sur le trajet du rayon de soleil, elle n'en flotte pas moins dans toutes les autres parties de la chambre.

Or cette poussière contient des parcelles de toutes sortes : des poils de drap arrachés aux habits par la brosse, des pellicules détachées des cheveux des personnes qui habitent la pièce, des brins de plume envolés des plumeaux avec lesquels on a épousseté les meubles, de la paille des balais, du crin des brosses, d'imperceptibles insectes, etc....

La plupart de ces corpuscules sont principalement composés de charbon, et, venant se brûler au contact du poêle rouge, changent ce charbon en acide carbonique et oxyde de carbone, les deux ennemis de l'homme dont je vous ai fait faire la connaissance.

Aussitôt dans la chambre, ces deux gaz se mettent, le premier à asphyxier, le second à empoisonner les habitants. L'asphyxie et l'empoisonnement ne sont pas complets, parce que l'ennemi n'est pas en force, mais les malaisés, maux de tête, douleurs d'estomac, vertiges, sont les suites de leur tentative, et de la confiscation de l'oxygène nécessaire à la respiration.

La constatation de cette nécessité de l'oxygène, tant pour la respiration que pour la combustion, me fait songer que je voulais vous apprendre comment on éteint les feux de cheminée, et que je ne l'ai pas fait.

Je vous ai dit que la fumée est composée de particules solides que les gaz de la combustion enlèvent en montant dans la cheminée, comme le vent, c'est-à-dire l'air en mouvement, entraîne les pailles, les plumes et autres corps légers.

Ces particules sont principalement du charbon non brûlé, et des matières huileuses qui se trouvent dans le bois et la houille.

Toutes ces matières, rampant le long des parois du canon de la cheminée, s'y collent, et finissent par y former une couche plus ou moins épaisse de matières combustibles connues sous le nom de suie.

C'est cette suie qui prend feu, quand la flamme vient à s'élever un peu trop haut dans le foyer, et fait ce qu'on appelle les feux de cheminée.

Les feux de cheminée sont assez fréquents pour que vous deviez vous attendre à en voir chez vous, quand vous serez maîtresse de maison. Il est donc utile de savoir ce qu'il faut faire en pareil cas.

Et d'abord, ma chère enfant, pousser des cris aigus, se trouver mal, avoir une ! attaque de nerfs, les meilleurs auteurs vous diront que ce sont là, pour éteindre les feux de cheminée, des moyens tout à fait insuffisants. La plupart des femmes n'en connaissent pas d'autres, mais vous ferez bien de ne pas en user.

Encore moins faut-il, pour appeler les passants, ouvrir les fenêtres, par lesquelles l'air, se précipitant, amènerait des flots d'oxygène qui alimenteraient l'incendie.

Il faut au contraire le prendre par la famine, comme les dompteurs les bêtes féroces, c'est-à-dire le priver d'oxygène en bouchant le plus hermétiquement possible le haut et le bas du tuyau. La suie dévore le peu d'oxygène resté dans la cheminée ; maigre repas, après lequel l'incendie périt bientôt faute d'aliment.

D'autres fois, au lieu de le faire mourir de faim, on l'empoisonne.

Empoisonner un incendie, la figure est peut-être un peu hardie, mais elle vous fera comprendre cet étrange procédé qui consiste, pour éteindre un incendie, à jeter au milieu du feu du combustible.

Vous pensez bien que ce n'est pas le premier combustible venu. C'est de la fleur de soufre, et on ne la jette dans le foyer qu'après que les deux bouts du tuyau sont bouchés.

Aussitôt, ce soufre se combine avec l'oxygène qui existe encore dans le tuyau, car le soufre étant plus combustible que la suie, c'est sur lui que, de préférence, se jette l'oxygène. Or le gaz qui résulte de la combustion du soufre, comme nous avons vu l'acide carbonique résulter de la combustion du charbon, est absolument impropre à la combustion, en sorte que l'incendie s'éteint aussitôt, asphyxié, empoisonné (pour continuer la métaphore) par l'acide sulfureux.

C'est le nom du gaz que produit la combustion du soufre, et, que ce gaz soit impropre à la combustion, c'est ce que vous saviez longtemps avant que je ne vous le dise, et depuis le jour où, pour la première fois, ayant allumé une allumette soufrée, vous avez eu l'imprudence d'en approcher d'un peu trop près votre visage.

Vous avez pu sentir alors l'odeur suffocante du soufre brûlé, et, toussant et pleurant malgré vous, reconnaître que l'acide sulfureux est irrespirable, et, par conséquent, car c'est tout un, impropre à la combustion.

Voilà, ma chère enfant, mon. cours de fumisterie fini ; si, quand vous aurez un chez-vous, on ne s'y chauffe pas bien, si vos cheminées fument, ou si, quand le feu s'y mettra, vous perdez la tête, ce ne sera pas ma faute, et je décline d'avance la responsabilité de ces malheurs

XXXIX^e ENTRETIEN

LES SOURCES DE FROID

Après les sources de chaleur, les sources de froid. Mais d'abord, un mot d'explication sur ce mot : sources de froid. Puisque, en effet, nous avons dit que le froid n'est rien, qu'une négation, que l'absence de chaleur, que peuvent bien signifier les mots « sources de froid » ? Comment peut-on créer une négation ? produire l'absence de chaleur ?

J'insiste sur cette idée que nous avons déjà effleurée ensemble, parce qu'il n'est pas de question sur laquelle les idées fausses soient plus communes.

Je disais tout à l'heure : comment peut-on créer une négation ? produire l'absence de chaleur ?

La dernière question contient la réponse. Produire l'absence de la chaleur n'est pas une expression très française, mais elle indique bien ce qu'on fait en produisant une source de froid ; on rend la chaleur absente, on la chasse, et le résultat est, naturellement, la sensation du froid.

C'est si vrai, que voici une expérience où nous allons faire se réfléchir sur un miroir, ou avoir l'air de faire de réfléchir cette négation, cette apparence, le froid :

Devant un grand miroir courbe en métal (fig. 103) (car ici le miroir à barbe qui nous a servi à allumer du papier au soleil ne suffirait pas), installons une grille portée sur un pied et remplie de charbons allumés : nous pourrions trouver en tâtonnant, un point (encore un physicien ne tâtonnerait-il pas et vous dirait-il tout de suite où est ce point), où un thermomètre sensible, bien que préservé par un écran du rayonnement direct du charbon, montera sous l'influence de la chaleur réfléchiée par le miroir.

Ce point trouvé, vous pourrez à volonté (notez ceci) intervertir les places de la grille et du thermomètre ; mettre la grille où est le thermomètre et le thermomètre où est la grille ; et, que la grille soit auprès du miroir, ou que ce soit le thermomètre, peu importe : toujours celui-ci montera.

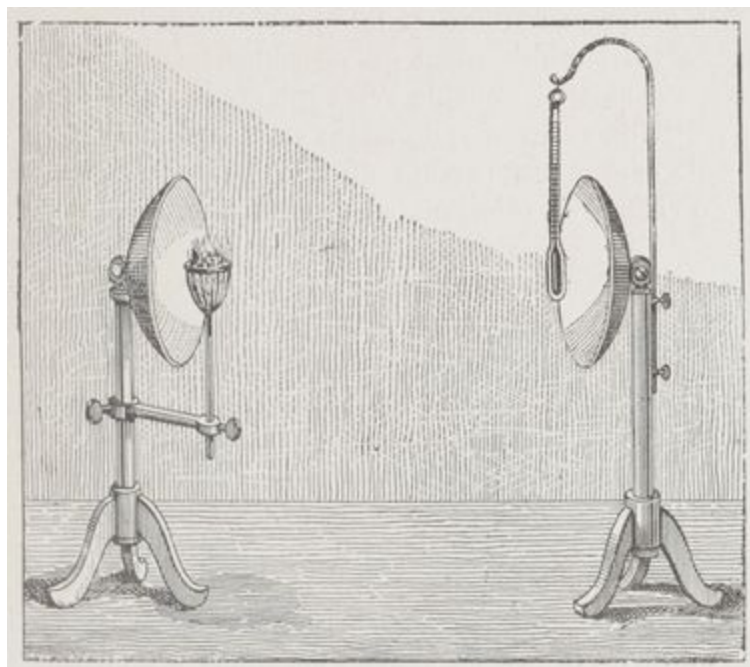
C'est un fait d'expérience, et qui ne doit pas vous étonner, car cette expérience est, sous une autre forme, celle du papier allumé par la chaleur du soleil réfléchi dans le miroir à barbe.

Mais attention, voici qui va devenir plus surprenant :

Je vide les charbons contenus dans la grille, et je les remplace par de la glace pilée.

Aussitôt le thermomètre commence à baisser, et nous voilà bien forcés, n'est-il pas vrai ? d'avouer que cette négation, le froid, se réfléchit tout comme la chaleur.

Fig. 103.



Eh bien, non, je ne l'avoue pas du tout, car ce n'est pas vrai, et nous sommes le jouet d'une apparence.

Je suppose que lorsque vous rentrez, l'hiver, de la promenade, les mains glacées, je prenne, moi qui suis resté auprès d'un bon feu, vos deux mains dans les miennes, que va-t-il arriver ?

Deux choses : vos mains se réchaufferont au contact des miennes, et, au contact des vôtres, les miennes se refroidiront. Il y aura, entre nos mains, partage de la chaleur que possédaient les miennes. A ce partage, les vôtres, qui étaient très froides, gagneront, mais les miennes, qui étaient chaudes, perdront, et, au bout de peu de temps, vos mains et les miennes seront à la même température.

Or, pour que cet échange se fasse entre deux corps de température différente, il n'est pas nécessaire qu'ils soient en contact. L'échange se ferait à distance, par rayonnement, et vous pourriez le vérifier par vingt expériences.

Mais je n'en veux pas d'autre que celle même que nous avons commencée :

Quand nous mettons en effet devant le miroir la grille pleine de glace et le thermomètre, celui-ci, qui est plus chaud que la glace, s'empresse de lui envoyer sa chaleur, de la lui céder, comme tout à l'heure mes mains, plus chaudes que les vôtres, leur cédaient leur chaleur, et, comme mes mains se refroidissaient en réchauffant les vôtres, ainsi le thermomètre se refroidit, sinon en réchauffant la glace, puisque la glace reste, par essence, vous ne l'avez pas oublié, dans l'impénitence finale, et refuse de s'échauffer, du moins en la fondant.

Ainsi cette réflexion apparente du froid n'était en réalité que la réflexion du chaud, du calorique en sens inverse, et voilà le mystère expliqué.

C'est le même mystère et la même explication que nous allons retrouver dans l'étude des sources de froid. Toujours, refroidir un corps, ce sera, non pas lui apporter du froid, mais lui ôter de la chaleur.

Par exemple le froid que vous ressentez quand vous versez une goutte d'éther sur votre main, quelle est sa cause ? C'est que pour se vaporiser, la goutte d'éther enlève à votre main la chaleur qui lui est nécessaire.

Il en est de même de toutes les sources du froid, ou mélanges réfrigérants que je vais vous citer. Dans tous il s'agit de chaleur enlevée au mélange, et je ne reviendrai pas sur ces explications.

Mais, comme il peut être, soit curieux, soit utile de réaliser ces mélanges, et qu'on trouve en général chez tous les pharmaciens les substances qui servent à les faire, je vais simplement vous les énumérer avec les proportions dans lesquelles ces substances doivent être mélangées, et les abaissements de température qui résultent de chacun des mélanges.

Un mélange à poids égal d'eau et d'azotate d'ammoniaque cristallisé (un rude nom, mais vous n'avez qu'à demander ce sel chez le premier pharmacien venu), donne un abaissement de température d'environ 26 degrés ;

Un mélange de 3 parties de sulfate de soude cristallisé et de 2 parties d'acide chlorhydrique, un abaissement d'une trentaine de degrés.

Ainsi, en supposant que la température de la pièce où l'on opère soit de 15 degrés, circonstance facile à réaliser même en été en opérant dans une cave, on peut obtenir, avec le premier mélange, un froid de 11, avec le second, de 15 degrés au-dessous de zéro, et par conséquent faire facilement des glaces soi-même.

Il y a bien d'autres mélanges réfrigérants, mais comme, d'une part, ils sont surtout usités dans les cabinets de physique, où nous ne voulons pas pénétrer ensemble, de l'autre ils nécessitent l'emploi de la neige ou de la glace, et par conséquent ne servent pas, pratiquement, à faire de la glace, je ne vous en décrirai qu'un à titre de curiosité et parce qu'il est connu de tout le monde.

Il consiste en un mélange de glace pilée et de sel marin ; quand on place les deux substances par couches successives et qu'on y plonge un thermomètre, il descend à 21 degrés au-dessous de zéro.

XL^e ENTRETIEN

COUP D'ŒIL EN ARRIÈRE

Je voulais aujourd'hui, ma chère enfant, vous conduire auprès de cette machine à vapeur, que vous voyez fumer là-bas, et vous en expliquer le mécanisme. Mais ce mécanisme est compliqué, et j'ai, au cours de ces entretiens, exigé de vous tant d'efforts d'attention, qu'au moment de vous en demander un de plus, je me suis senti pris d'un scrupule.

Je me suis dit que notre promenade était déjà longue, et que je vous avais promis, en la commençant, de ne pas la pousser jusqu'à la fatigue ; qu'après la machine à vapeur nous n'aurions pas, il s'en faut, vu tout ce que je me propose de vous montrer, et qu'il valait mieux interrompre notre promenade, vous laisser le temps de faire une nouvelle provision de curiosité, de vous reposer et de mûrir les connaissances que nous avons acquises ensemble.

Mais, avant de me séparer momentanément de ma chère écolière, il m'a semblé à propos de jeter un regard en arrière sur le chemin parcouru avec elle, et, comme les voyageurs relisent, rentrés à la maison, leurs notes de voyage, de repasser à grands traits, pendant qu'ils sont frais dans votre mémoire, les principaux incidents de notre promenade, de faire l'inventaire rapide de ce que nous avons appris ensemble.

Hélas ! bien peu de chose ; mais qu'importe ? Ce n'est pas beaucoup savoir, c'est bien comprendre qui est l'essentiel, et une idée juste, la conception nette du moindre phénomène naturel, vaut mieux que tout le fatras de l'érudition allemande. « Ce que je sais, disait Socrate, c'est que je ne sais rien ; » et, deux mille ans après Socrate, savoir qu'on ne sait rien est encore la meilleure science des hommes.

J'entends des hommes instruits ; car, pour les ignorants, ils savent tout, ou croient tout savoir. Ils savaient, au moyen âge, que la nature a horreur du vide, comme ils savent aujourd'hui que c'est la lune rousse qui brûle leurs laitues.

Nous avons déjà, lors de notre voyage au Pays des étoiles, réhabilité la lune injustement accusée ; et de même nous avons, au cours de la

promenade que nous terminerons aujourd'hui, remplacé la prétendue horreur du vide par la très réelle horreur des raisonnements vides, et renvoyé cette superstition avec celle de la lune rousse ; mais, en reconnaissant que la cause de l'ascension de l'eau dans les pompes et du mercure dans le baromètre est la pression atmosphérique, nous nous sommes bien gardés de croire avoir trouvé la cause première du phénomène, d'avoir répondu à la question « Pourquoi ? »

Toutes les fois qu'on répond à un « pourquoi », il en surgit aussitôt un autre derrière, et la question se trouve, non résolue, mais simplement reculée.

Derrière la pression atmosphérique, et comme cause de cette pression, nous avons trouvé la pesanteur, qui, faisant porter à chaque couche de l'atmosphère la charge des couches qui lui sont superposées, a rendu, à la surface de la terre, la pression atmosphérique égale au poids d'une colonne d'eau de 10 mètres, ou d'une colonne de mercure de 76 centimètres, et nous a fait comprendre comment la diminution de la colonne barométrique permet de mesurer la hauteur des montagnes.

Mais la pesanteur elle-même, qu'est-ce ? une forme de cette attraction universelle qui tend à précipiter tous les corps de l'univers les uns sur les autres, suivant les lois dont la découverte a immortalisé Newton.

Et l'attraction à son tour, quelle est sa cause ? Voilà le dernier « pourquoi », car nul ne le sait et sans doute ne le saura jamais.

A défaut de réponse à ce dernier pourquoi, nous avons pu du moins étudier les lois de la pesanteur, et grâce à un génie, Archimède, dont le nom est digne de trouver place même à côté de celui de Newton, comprendre pourquoi les bateaux flottent sur les rivières et les aérostats au milieu des nuages, pourquoi les sources jaillissent de terre, et pourquoi les jets d'eau, qui semblent en s'élançant dans les airs violer les lois de la pesanteur, ne font au contraire que les confirmer.

Puis, poursuivant notre promenade, nous avons tout à coup rencontré une force — la chaleur — rivale de cette attraction qui tend à jeter les uns sur les autres non seulement les grands corps de l'univers, mais encore les atomes de chaque corps. Et, cet antagonisme constaté, une foule de phénomènes jusque-là inexplicables ont cessé de nous étonner :

La dilatation des corps, triomphe de la chaleur sur l'attraction, et qui atteste si Lien ce triomphe, que c'est sur la dilatation des corps qu'est fondée la mesure des températures par le thermomètre ;

Les changements d'état, où tantôt la victoire de l'attraction sur la chaleur rapproche jusqu'à en faire des molécules liquides les molécules indisciplinées d'un gaz, ou fixe invariablement en un corps solide les mobiles atomes d'un liquide, et tantôt au contraire la victoire de la chaleur sur l'attraction rend aux molécules solidifiées d'un liquide leur mobilité, ou, plus chauffées encore, leur permet de s'envoler en gaz.

Ainsi l'attraction et la chaleur, telles sont les deux forces dont l'antagonisme donne lieu à tous les phénomènes que nous avons rencontrés jusqu'ici, et dont le jeu se retrouve dans une foule d'appareils ou d'ustensiles familiers dont j'ai pu vous expliquer le mécanisme.

Il y a d'autres manifestations de ces mêmes forces, comme le son, et aussi des agents nouveaux, tels que la lumière, le magnétisme, l'électricité. Mais tout voir en une seule promenade, vous ne l'auriez pu qu'au prix d'une fatigue que je tenais avant tout à vous éviter. Plus tard, si ces entretiens ont su vous intéresser, si le petit savoir que vous y avez puisé vous donne le désir de savoir davantage, nous entreprendrons ensemble une nouvelle promenade.

Je vous y montrerai comment les lois de la musique sont données par la nature elle-même à qui sait la comprendre ; de quels appareils les savants se servent pour observer les infiniment petits et les infiniment grands, et pour découvrir, Pasteur le microbe du charbon, Herschell la planète Uranus ; comment Franklin

Ravit la foudre aux cieux et le sceptre aux tyrans,

et comment les successeurs modernes de Franklin forcent cette foudre apprivoisée par lui à éclairer nos villes et à tourner les meules de nos moulins.

Des phénomènes naturels, c'est le plus intéressant qui nous reste à apprendre. Aussi est-ce avec confiance que je ferai de nouveau, un jour, appel à votre curiosité, et que je vous dis aujourd'hui, ma chère enfant, non pas adieu, mais au revoir !

ÉDUCATION-RÉCRÉATION

Collection Hetzel

*Famille
Enfance, Jeunesse*

Magasin d'Éducation ET DE Récréation

Journal de toute la Famille couronné par l'Académie

Fondé par **P.-J. STAHL** en 1864

et

Semaine des Enfants

réunis, dirigés par

Jules Verne → J. Hetzel → J. Macé

La Collection complète

46 beaux volumes in-8 illustrés

Brochés 322 fr.
Cartonnés dorés 460 fr.
Volume séparé, broché 7 fr.
— cartonné doré 10 fr.

ABONNEMENT

d'un An

Paris 14 fr.
Départements 16 fr.
Union 17 fr.
(Il paraît deux volumes par an.)

En préparation pour 1888

Deux ans de Vacances

Grand roman inédit de JULES VERNE

Une Élève de 16 ans

par E. LEGOUVÉ (de l'Académie)

Les Douze

Par M. BERTIN

Le Fils de Veuve

par S. BLANDY

Les Mines de Salomon

par RIDDER HAGGARD

L'Étude des Beaux-Arts

par CARTERON

ETC., ETC.

Catalogue DY.

MAGASIN D'EDUCATION ET DE RÉCRÉATION

Les Tomes I à XXIV

renferment comme œuvres principales :

L'Ile mystérieuse, Les Aventures du Capitaine Hatteras, Les Enfants du Capitaine Grant, Vingt mille lieues sous les mers, Aventures de trois Russes et de trois Anglais, Le Pays des Fourrures, Michel Strogoff, de JULES VERNE. — La Morale familière (cinquante contes et récits), Les Contes Anglais, La Famille Chester, Histoire d'un Ane et de deux jeunes Filles, La Matinée de Lucile, Le Chemin glissant, Une Affaire difficile, L'Odyssée de Pataud et de son chien Fricot, de P.-J. STAHL. — La Roche aux Mouettes, de Jules SANDEAU. — Le nouveau Robinson suisse, de STAHL et MULLER. — Romain Kalbris, d'Hector MALOT. — Histoire d'une maison, de VIOLLET-LE-DUC. — Les Serviteurs de l'Estomac, Le Géant d'Alsace, L'Anniversaire de Waterloo, Le Gulf-Stream, La Grammaire de mademoiselle Lili, Un Robinson fait au collège, de Jean MACÉ. — Le Denier de la France, La Chasse, Le Travail et la Douleur, A Madame la Reine, Un Premier Symptôme, Sur la Politesse, Un Pêché véniel, Diplomatie de deux mamans, etc., de E. LEGOUVÉ. — Petit Enfant, Petit Oiseau, L'Absent, Rendez-vous, La France, La Sœur aînée, L'Enfant grondé, etc., par Victor DE LAPRADE. — La Jeunesse des Hommes célèbres, de MULLER. — Aventures d'un jeune Naturaliste, Entre Frères et Sœurs, de Lucien BIART. — Le Petit Roi, de S. BLANDY. — L'Ami Kips, de G. ASTON. — Causeries d'Economie pratique, de Maurice BLOCK. — Les Vilaines Bêtes, de BÉNÉDICT. — Vieux Souvenirs, Départ pour la Campagne, Bébé aime le rouge, de Gustave DROZ. — Le Pacha berger, de LABOULAYE. — La Musique au foyer, de P. LACOME. — Histoire d'un Aquarium, Les Clients d'un vieux Poirier, de E. VAN BRUYSEL. — Histoire de Bébé, Une Lettre inédite, Septante fois sept, de DICKENS. — Paquerette, Le Taciturne, etc., de H. FAUQUEZ. — Le Petit Tailleur, de A. GENIN. — Curiosités de la vie des Animaux, par P. NOTH. — Notre vieille Maison, de H. HAVARD. — Le Chalet des Sapins, par Prosper CHAZEL. — Les Deux Tortues, Ce qu'on faisait à un bébé quand il tombait, par F. DUPIN DE SAINT-ANDRÉ, etc., etc.

Les petites Sœurs et les petites Mamans, Les Tragédies enfantines, Les Scènes familiales, textes de P.-J. STAHL.

Les Tomes XXV à XLVI

renferment comme œuvres principales :

JULES VERNE : Nord contre Sud, Un Billet de Loterie, L'Étoile du Sud, Kéraban-le-Têtu, L'École des Robinsons, La Jangada, La Maison à vapeur, Les Cinq cents millions de la Bégum, Hector Servadac. — JULES VERNE et ANDRÉ LAURIE : L'Épave du Cynthia. — P.-J. STAHL : Maroussia, Les Quatre Filles du docteur Marsch, Le Paradis de M. Toto, La Première cause de l'avocat Juliette, Un Pot de crème pour deux, La poupée de mademoiselle Lili. — STAHL et LERMONT : Jack et Jane, La Petite Rose. — LUCIEN BIART : Monsieur Pinson, Aventures de deux enfants dans un parc. — E. LEGOUVÉ, de l'Académie : Leçons de lecture, etc. — VICTOR DE LAPRADE, de l'Académie : Le Livre d'un Père. — A. DEQUET : Mon Oncle et ma Tante. — A. BADIN : Jean Casteyras. — E. EGGER, de l'Institut : Histoire du Livre. — J. MACÉ : La France avant les Francs. — CH. DICKENS : L'Embranchement de Mugby. — ANDRÉ LAURIE : Le Bachelier de Séville, Une Année de collège à Paris, Scènes de la vie de collège en Angleterre, Mémoires d'un Collégien, L'Héritier de Robinson. — P. CHAZEL : Riquette. — Dr CANDEZE : La Gileppe, Aventures d'un Grillon, Périnet, etc. — C. LEMONNIER : Bébé et Joujou. — HENRY FAUQUEZ : Souvenirs d'une Pensionnaire. — J. LERMONT : Les jeunes Filles de Quinzebasset. — F. DUPIN DE SAINT-ANDRÉ : Histoire d'une bande de canards, La Vieille Casquette, etc. — TH. BENTZON : Un Conte d'hiver en Alsace, Le Petit Violon, etc. — BÉNÉDICT : Le Noël des petits Ramoneurs, Les charmantes Bêtes, etc. — A. GENIN : Marco et Tonino, Histoire de deux Pigeons de Saint-Marc. — F. DIENY : La Patrie avant tout. — G. LE MAIRE : Le Livre de Trotty. — G. NICOLE : Le Chibouk du Pacha, etc. — GENNEVRAIE : Théâtre de Famille, La petite Louissette. — BERTIN : Voyage au pays des défauts, Les deux Côtés du mur. — PERRAULT : Pas-Pressé, Les Lunettes de Grand-Maman. — B. VADIER : Blanchette, Comédies. — I. A. REY : Les Travailleurs microscopiques. — BLANDY : L'Oncle Philibert. — GOUZY : Voyage au Pays des Étoiles, Promenade d'une Fillette, Autour d'un Laboratoire, Pierre et Paul, — Les petits Bergers, par un Papa.

Illustrations par ATALAYA, BAYARD, BENETT, BECKER, CHAM, GEOFROY, L. FROELICH, FROMENT, LAMBERT, LALAUZE, LIX, ADRIEN MARIE, MEISSONIER, DE NEUVILLE, PHILIPOTEAUX, RIOU, G. ROUX, TH. SCHULER, etc.

N. B. — La plus grande partie de ces œuvres ont été couronnées par l'Académie française.

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT

Prix : broché, 7 fr.; cartonné toile, tranches dorées, 10 fr.; relié, tranches dorées, 12 fr.



LES NOUVEAUTÉS POUR 1887-1888 SONT INDICUÉES PAR UNE †
Les ouvrages précédés d'une double palme ont été couronnés par l'Académie

(1^{re} Age)

ALBUMS STAHL IN-8° ILLUSTRÉS

Les Albums Stahl

Il y a des lecteurs qui ne sont pas hommes encore et à qui il faut des lectures et des images pour leur premières curiosités. Ce public innombrable et frêle n'a pas été oublié. Les *Albums Stahl* leur donnent de piquants ou de jolis dessins accompagnés d'un texte naïf. La naïveté est celle qu'un ingénieux esprit, comme Stahl, peut offrir. Elle a ses malices légères et sa gaieté tendre. Les dessins ont de la fantaisie dans la vérité. Bégayements heureux, rires argentins, ce sont là les effets que produisent ces albums caressants. Il y a beaucoup de gros livres et de travaux ambitieux qui n'ont pas la même utilité.

GUSTAVE FRÉDÉRIX, (*Indépendance Belge.*)

FRÆLICH

† Pierre et Paul.	La Fête de M ^{lle} Lili.	Monsieur Toc-Toc.
La Poupée de M ^{lle} Lili.	Journée de M ^{lle} Lili.	Le premier Chien et le premier Pantalon.
La Journée de M. Jujules.	La Grammaire de M ^{lle} Lili.	L'Ours de Sibérie.
L'A perdu de M ^{lle} Babet.	(J. Macé.)	Le petit Diable.
Alphabet de M ^{lle} Lili.	Le Jardin de M. Jujules.	Premier Cheval et première Voiture.
Arithmétique de M ^{lle} Lili.	M ^{lle} Lili aux Eaux.	Premières armes de M ^{lle} Lili.
Bonsoir, petit père.	Les Caprices de Manette.	La Salade de la grande Jeanne.
Cerf-Agile, histoire d'un jeune sauvage.	Les Jumeaux.	La Crème au chocolat.
Commandements du Grand-Papa.	Un drôle de Chien.	M. Jujules à l'école.
	La Fête à Papa.	
	Mlle Lili à la campagne.	
L. BECKER.	L'Alphabet des Oiseaux.	
	L'Alphabet des Insectes.	
COINCHON (A.).	Histoire d'une Mère.	
DETAILLE.	Les bonnes Idées de mademoiselle Rose.	
FATH.	Le Docteur Bilboquet.	
	Gribouille. — Jocrisse et sa Sœur.	
	Les Méfaits de Polichinelle. — Pierrot à l'École.	
	La Famille Gringalet. — Une folle soirée chez Paillasse.	
FROMENT.	Le Petit Acrobate.	
	La Boîte au lait. — Histoire d'un pain rond.	
	La Petite Devineresse. — Le Petit Escamoteur.	
GEOFFROY.	Le Paradis de M. Toto. — 1 ^{re} Cause de l'avocat Juliette.	
	† L'Age de l'École.	
GRISSET.	La Découverte de Londres	
JUNDT.	L'École buissonnière.	
LALAUZE.	Le Rosier du petit Frère.	
LAMBERT.	Chiens et Chats.	
LANÇON.	Caporal, le chien du régiment.	
MARIE (A.).	Le petit Tyran.	
MATTHIS.	Les deux Sœurs.	
MEAULLE.	Petits Robinsons de Fontainebleau.	
PIRODON.	Histoire d'un Perroquet. — Histoire de Bob alné.	
	La Pie de Marguerite.	
SCHULER (TH.).	Les Travaux d'Alsa.	
VALTON.	Mon petit Frère.	



ALBUMS STAHL ILLUSTRÉS gr. in-8°

FRÆLICH

M ^{lle} Mouvette.	Voyage de M ^{lle} Lili autour du monde.
M. Jujules et sa sœur Marie.	Voyage de découvertes de M ^{lle} Lili.
Petites Sœurs et petites Mamans.	La Révolte punie.
CHAM.	Odyssée de Patand.
FROMENT.	La belle petite Princesse Iisée. — La Chasse au volant.
GRISSET (E.).	Aventures de trois vieux Marins. — Pierre le Cruel.
SCHULER (T.).	Le premier Livre des petits enfants.
VAN BRUYSEL.	Histoire d'un Aquarium.

1^{er} Age

ALBUMS STAHL en COULEURS, IN-4°

L. FRÆLICH

Chansons & Rondes de l'Enfance

Sur le Pont d'Avignon.
La Tour prends garde.
La Marmotte en vie.
La Boulangère a des écus.
La Mère Michel.

Giroflé-Girofla.
Il était une Bergère.
M. de La Palisse.
Au Clair de la Lune.
Cadet-Roussel.

Le bon roi Dagobert.
Compère Guilleri.
Malbrough s'en va-t-en guerre.
Nous n'irons plus au bois.

L. FRÆLICH

La Bride sur le cou. — M. César. — Le Cirque à la maison. — M^{lle} Furet. — Pommier de Robert.
Moulin à paroles. — Jean le Hargneux. — Hector le Fanfaron. — La Revanche de François.

BECKER. Une drôle d'École.
COURBE. L'Anniversaire de Lucy.
GEOFFROY. Monsieur de Crac. — Don Quichotte. — Gulliver.
— † L'Ane gris. — Le pauvre Ane.
JAZET. L'Apprentissage du Soldat.
DE LUCHT. † Les trois montures de John Cabriole.
— La Leçon d'Équitation. — La Pêche au Tigre.
MATTHIS. Métamorphoses du Papillon.
MARIE. Mademoiselle Suzon.
TINANT. † Du haut en bas. — Un Voyage dans la neige.
— Une Chasse extraordinaire.
— Les Pêcheurs ennemis. — La Guerre sur les Toits.
— La Revanche de Cassandre.
TROJELLI. Alphabet musical de M^{lle} Lili.



1^{er} et 2^{me} Ages

PETITE BIBLIOTHÈQUE BLANCHE

Volumes gr. in-16 colombier, Illustrés

AUSTIN. Boulotte.
BAUDE (L.). Mythologie de la Jeunesse.
BERTIN (M.). † Voyage au Pays des défauts. — Les deux Côtés du mur.
BIGNON. Un Singulier petit Homme.
CHAZEL (PROSPER). Riquette.
DE CHERVILLE (M.). Histoire d'un trop bon Chien.
DEVILLERS. Les Souliers de mon voisin.
DICKENS (CH.). L'Embranchement de Mugby.
DIENY (F.). La Patrie avant tout.
DUMAS (A.). La Bouillie de la comtesse Berthe.
FEUILLET (O.). La Vie de Polichinelle.
GENIN (M.). Le Petit Tailleur Bouton. — Marco et Tonino.
— Les Pigeons de Saint-Marc. — Un petit Héros.
GENNEVRAÏE. Petit Théâtre de Famille.
GOZLAN (LEON). Le Prince Chênevis.
KARR (ALPHONSE). Les Fées de la mer.
LA BÉDOLLIÈRE (DE). Histoire de la Mère Michel et de son chat.
LACOME. La Musique en famille.
LEMAIRE-CRETIN. Le Livre de Trotty.
LEMOINE. La Guerre pendant les vacances.
LEMONNIER (C.). Bébé et Joujou.
— Histoire de huit Bêtes et d'une Poupée.
LOCKROY (S.). Les Fées de la Famille.
MULLER (E.). Récits enfantins.
MUSSET (P. DE). Monsieur le Vent et Madame la Pluie.
NODIER (CHARLES). Trésor des Fèves et Fleur des Pois.
NOEL (E.). La Vie des Fleurs.
OURLIAC (E.). Le Prince Coqueluche.
PERRAULT (P.). Les Lunettes de Grand'Maman.
SAND (GEORGE). Le Vritable Gribouille.
STAHL (P.-J.). Les Aventures de Tom Pouce.
VAN BRUYSEL. Les Clients d'un vieux Poirier.
VERNE (JULES). Un Hivernage dans les glaces. — Christophe Colomb.
VIOLETT-LE-DUC. Le Siège de la Rochepont.

Bibliothèque d'Éducation et de Récréation

QUELS souvenirs agréables et charmants ce titre général ne rappelle-t-il pas aux hommes jeunes d'aujourd'hui, ceux qui entraient dans la vie au moment même où une révolution complète s'opérait, en leur faveur, dans la littérature ! Car il n'y a pas beaucoup plus de vingt ans que les jeunes gens lisent, c'est-à-dire qu'ils ont des livres conçus pour eux, écrits pour eux, et dont le succès est tel qu'on n'aurait pas osé l'attendre.

« C'est presque une innovation que l'introduction de la lecture dans les plaisirs de la jeunesse. Elle date presque d'hier : mettons vingt ans, c'est tout le bout du monde. Pendant ces vingt années, l'éditeur Hetzel a su publier 300 volumes de premier ordre.

« Le titre trouvé par l'éditeur constitue à lui seul un programme : EDUCATION et RECREATION. Et en effet, tout est là. Ces beaux et bons livres instruisent et ils amusent. »

VOLUMES IN-8° CAVALIER, ILLUSTRÉS

ALDRICH..	Un Écolier américain.
F. ALONE.	Autour d'un Lapin blanc.
ASTON (G.)	L'Ami Kips.
AUDEVAL (H.)	La Famille de Michel Kagenet.
BENTZON (TH.)	Pierre Casse-Cou.
—	Yette (Histoire d'une jeune Créole).
BIART (L.)	Voyage de deux Enfants dans un parc.
—	Entre Frères et Sœurs.
BRÉHAT (A. DE)	Aventures de Chariot.
CAHOURS ET RICHELIEU	Chimie des Demoiselles.
CHAZEL (PROSPER)	Le Chalet des sapins.
DEQUET	Histoire de mon Oncle et de ma Tante.
ERCKMANN-CHATRIAN	Les Vieux de la Vieille (Lucien et Justine).
FATH (G.)	Un Drôle de Voyage.
GENIN (M.)	La Famille Martin.
GOUZY	Voyage d'une Fillette au pays des Étoiles.
—	† Promenade d'une fillette autour d'un laboratoire.
GRAMONT (COMTE DE)	Les Bébés.
KAEMPFEN (A.)	La Tasse à thé.
LEMAIRE-CRETIN	Expériences de la petite Madeleine.
MICHELET (gr. in-8°)	Histoire de la Révolution française. 4 vol. (brochés).
MULLER	La Morale en Action par l'Histoire.
NERAUD	La Botanique de ma Fille.
PERRAULT (P.)	† Pas-Pressé.
RATISBONNE	Dernières scènes de la Comédie enfantine.
RECLUS (E.)	Histoire d'une Montagne. — Histoire d'un Ruisseau.
REY (J.-ARISTIDE)	Travailleurs et Malfaiteurs microscopiques.
STAHL (P.-J.)	La famille Chester. — Mon premier Voyage en mer.
STAHL ET DE WAILLY	Contes célèbres anglais.
VADIER (B.)	Blanchette.
VALLERY-RADOT (R.)	Journal d'un Volontaire d'un an.

VOLUMES IN-8° RAISIN, ILLUSTRÉS

BADIN (A.)	Jean Casteyras. (Aventures de 3 Enfants en Algérie).
BENEDICT	† La Madone de Guido Reni.
BIART (L.)	Deux Amis.
—	{ Les Voyages } La Frontière indienne. — Monsieur Pinson. —
—	{ involontaires. . . } Le Secret de José. — Lucia.
BLANDY (S.)	Le petit Roi.
—	† L'Oncle Philibert.
BOISSONNAS (B.)	† Une Famille pendant la guerre.
BREHAT (A. DE)	Les Aventures d'un petit Parisien.

Contes et Romans de l'Histoire Naturelle

D ^r CANDÈZE	{ Aventures d'un Grillon.
	{ La Gileppe (Histoire d'une population d'insectes).
	{ Périnette (Histoire surprenante de cinq moineaux).

Aventures d'un Grillon. — « Cette biographie d'un insecte obscur cache, sous une fine allégorie, non seulement un petit traité de morale familière, mais encore des notions d'entomologie très précises et très sûres. L'auteur, M. Ernest Candèze, est un écrivain déjà connu des lecteurs de la *Revue Scientifique*, et ses qualités littéraires ne nuisent pas, bien au contraire, à l'autorité de son enseignement.

Volumes in-8° illustrés (SUITE)

« C'est une philosophie ingénieuse que celle qui cherche dans l'étude du plus petit des mondes, du monde des insectes, des leçons applicables à l'univers entier. C'est merveille de voir comment même les petits côtés de la science gagnent à être traités par des écrivains littéraires, quand ils ont su se munir au préalable d'un savoir sérieux et éprouvé. »

(Revue Scientifique.)

« **La Gileppe** est un roman... j'allais dire naturaliste, mais il ne faut pas confondre; c'est un roman d'histoire naturelle bâti sur cette simple donnée: les infortunes d'une population d'insectes. C'est de la science amusante, le tout spirituel et d'un très bon style. »

CAUVAIN (H.)	Le grand Vaincu (le Marquis de Montcalm).
DAUDET (ALPHONSE)	Histoire d'un Enfant.
—	Contes choisis.
DESNOYERS (L.)	Aventures de Jean-Paul Choppart.
GENNEVRAYE	Théâtre de Famille.
—	La petite Louise.
GRIMARD (E.)	La Plante.
HUGO (VICTOR)	Le Livre des Mères.
LAPRADE (V. DE)	Le Livre d'un Père.

LA VIE DE COLLÈGE DANS TOUS LES PAYS

ANDRÉ LAURIE. Mémoires d'un Collégien (En l'été de département). — La Vie de Collège en Angleterre. — Une Année de Collège à Paris. — Un Écolier hanovrien. — Tito le Florentin. — Autour d'un Lycée Japonais. — † Le Bachelier de Séville.

M. Francisque SARCEY a consacré dans le *XIX^e Siècle* et le *Gagne-Petit*, à chacun des livres qui composent cette série, une étude spéciale.

« Notre ami Hetzel, écrivait-il au mois de décembre 1885, a commencé une collection bien curieuse et dont le titre générique suffit à indiquer l'intérêt. Chaque année, il paraît un volume qui nous transporte dans un pays différent. Il y a quatre ans, nous étions en France; l'année suivante on nous a menés en Angleterre; l'an d'après, en Allemagne. L'ensemble des volumes, dont cette série doit se composer, formera une étude assez complète des divers systèmes d'éducation suivis par chaque nation. »

« Tous ces volumes partent de la même main; ils sont de M. André Laurie, qui me paraît être un universitaire fort au courant des questions pédagogiques, et qui n'en est pas moins un conteur agréable et un écrivain élégant. C'est chaque année un régal attendu par moi de recevoir et de déguster son volume. »

FRANCISQUE SARCEY.

LES ROMANS D'AVENTURES

ANDRÉ LAURIE	Le Capitaine Trafalgar.
—	L'Héritier de Robinson.
J. VERNE ET A. LAURIE	L'Épave du Cynthia.
STEVENSON ET A. LAURIE	L'Ile au Trésor.

A PROPOS de l'*Épave du Cynthia*, M. Ulbach écrivait les lignes suivantes :
« La collaboration de MM. Jules Verne et André Laurie ne pouvait être que féconde. La science de l'un, l'observation de l'autre, les qualités littéraires des deux collaborateurs font de ce livre un des plus émouvants de la collection nouvelle. »

« Il y a peu de livres plus nourris de faits, plus substantiels, et d'un intérêt mieux soutenu que l'*Épave du Cynthia*, » a écrit M. Dancourt dans la *Gazette de France*.

« Plus sombre, plus terrible est l'*Ile au Trésor*, roman popularisé en Angleterre par des milliers d'éditions, et dont la maison Hetzel s'est assuré le droit de traduction exclusif. On raconte que M. Gladstone, le grand homme d'État, rentrant chez lui, après une séance agitée, trouva, par hasard, sous sa main, l'*Ile au Trésor* de Stevenson. Il en parcourut les premières pages, et il ne quitta plus le livre qu'il ne l'eût achevé. C'est que ces premières pages sont un chef-d'œuvre d'exposition mystérieuse, d'attractions captivantes... »

LEGOUVÉ	Nos Filles et nos Fils.
—	La Lecture en famille.
LERMONT (J.)	† Les jeunes Filles de Quinnebasset.
MACE (JEAN)	Contes du Petit-Château.
—	Histoire d'une Bouchée de Pain.
—	Histoire de deux Marchands de pommes.
—	Les Serviteurs de l'estomac.
—	Théâtre du Petit-Château.
MALOT (HECTOR)	Romain Kalbris.
MARELLE (CH.)	Le Petit Monde.

Volumes in-8° Illustrés (SUITE)

Aventures de Terre et de Mer

Œuvres choisies. — 16 volumes

MAYNE-REID.

Désert d'eau. — Deux Filles du Squatter. — Chasseurs de chevelures. — Chef au Bracelet d'or. — Exploits des jeunes Boërs. — Jeunes Esclaves. — Jeunes Voyageurs. — Petit Loup de mer. — Montagne perdue. — Naufragés de l'île de Bornéo. — Planteurs de la Jamaïque. — Robinsons de terre ferme. — Sœur perdue. — William le Mousse. — Les Émigrants du Transvaal. — La Terre de Feu.

MAYNE-REID est un Cooper plus accessible à tous, aux jeunes gens en particulier. Scrupuleusement moral, d'une imagination riche et curieuse, mettant en scène quelque simple récit, autour duquel il groupe des incidents romanesques, et cependant possibles, promène son lecteur au milieu des forêts vierges, parmi les tribus sauvages, et exalte le courage individuel aux prises avec les difficultés et les nécessités de la vie. » CLARETIE.

« Que les jeunes gens à qui les *Chasseurs de Chevelures* et les *Naufragés de l'île de Bornéo* ont procuré tant d'émotions dramatiques et toujours saines, jouissent de leur reste, a écrit Victor Fournel, dans le *Moniteur universel*, dans son étude sur la *Terre de feu*, la dernière œuvre de Mayne-Reid; il n'écrit plus pour eux, ce conteur inépuisable, ce Cooper de la jeunesse, dont les *Aventures de terre et de mer* ont charmé tant d'imagination, en les entraînant au loin dans les contrées mystérieuses de l'Afrique et les solitudes du nouveau monde. »

VICTOR FOURNEL.

MICHELET (J.) (Gr. in-8°). Histoire de France. 5 volumes.

MULLER (E.). La Jeunesse des Hommes célèbres.

— Les Animaux célèbres.

RATISBONNE (LOUIS) La Comédie enfantine.

SAINTINE (X.). Picciola.

SANDEAU (J.). La Roche aux Mouettes. — Madeleine.

— Mademoiselle de la Seiglière.

SAUVAGE (E.). La Petite Bohémienne.

SEGUR (COMTE DE). Fables.

ŒUVRES de P.-J. STAHL

Contes et Récits de Morale familière. — Les Histoires de mon Parrain. — Histoire d'un Anet et de deux jeunes Filles. — Maroussia.

— Les Patins d'argent. — Les Quatre Filles du docteur Marsch. — Les Quatre Peurs de notre Général.

STAHL a voulu enseigner familièrement la morale, la mettre en action pour tous les âges. De tous les livres de Stahl se dégage une morale présentée avec toute la séduction et cette forme spirituelle qui donne à la fiction les apparences de la réalité.

Peu d'hommes ont plus et mieux fait pour la jeunesse qui lui doit sa libération littéraire »

Ch. CANIVET. (*Le Soleil*.)

STAHL ET LERMONT. Jack et Jane. — La petite Rose, ses six tantes et ses sept cousins.

TEMPLE (DU). Sciences usuelles. — Communications de la Pensée.

TOLSTOI (COMTE L.). Enfance et Adolescence.

VERNE (JULES ET D'ENNER). Les Voyages au Théâtre.

VIOLLET-LE-DUC. Histoire d'une Maison.

— Histoire d'une Forteresse.

— Histoire de l'Habitation humaine.

— Histoire d'un Hôtel de Ville et d'une Cathédrale.

— Histoire d'un Dessinateur.

Volumes grand in-8° Jésus, Illustrés

BIART (L.). Aventures d'un jeune Naturaliste.

— Don Quichotte (*adaptation pour la jeunesse*).

BLANDY (S.). Les Épreuves de Norbert.

CLEMENT (CH.). Michel-Ange, Raphaël, Léonard de Vinci.

FLAMMARION (C.). Histoire du Ciel.

GRANDVILLE. Les Animaux peints par eux-mêmes.

GRIMARD (E.). Le Jardin d'Acclimatation.

LA FONTAINE. Fables, illustrées par ECG. LAMBERT.

MALOT (HECTOR). Sans Famille.

MEISSAS (DE). Histoire Sainte.

MICHELET (J.). Histoire de la Révolution française, tomes I et II réunis,

III et IV réunis.

MOLIÈRE. Édition SAINTE-BEUVE et TONY JOHANNOT.

STAHL ET MULLER. Nouveau Robinson suisse.

Jules Verne



VOYAGES EXTRAORDINAIRES

32 VOLUMES IN-8° JÉSUS, ILLUSTRÉS

† Nord contre Sud.
Un Billet de Loterie.
Autour de la Lune.
Aventures de 3 Russes et de 3 Anglais.
Aventures du capitaine Hatteras.
Un Capitaine de 15 ans.
Le Chancellor.
Cinq Semaines en ballon.
Les Cinq cents millions de la Bégum.
De la Terre à la Lune.
Le Docteur Ox.
Les Enfants du capitaine Grant.
Hector Servadac.
L'île mystérieuse.
Les Indes-Noires.
Mathias Sandorf.

† Le Chemin de France.
Robur le Conquérant.
La Jangada.
Kéraban-le-Têtu.
La Maison à vapeur.
Michel Strogoff.
Le Pays des Fourrures.
Le Tour du monde en 80 jours.
Les Tribulations d'un Chinois en Chine.
Une Ville flottante.
Vingt mille lieues sous les Mers.
Voyage au centre de la Terre.
Le Rayon-Vert.
L'École des Robinsons.
L'Étoile du sud.
L'Archipel en feu.

L'œuvre de Jules Verne est aujourd'hui considérable. La collection des *Voyages extraordinaires*, que l'Académie française a couronnés, se compose déjà de vingt-cinq volumes, et tous les ans, Jules Verne donne au *Magasin d'Éducation et de Récréation* un roman inédit.

Ces livres de voyage, ces contes d'aventures, ont une originalité propre, une clarté et une vivacité entraînantes. C'est très français. *

CLARETIE.

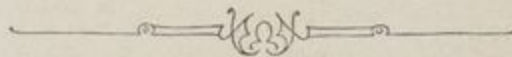


Découverte de la Terre

3 Volumes in-8°

Les premiers Explorateurs. — Les Grands Navigateurs du XVIII^e siècle.
Les Voyageurs du XIX^e siècle.

J. VERNE et TH. LAVALLÉE, Géographie illustrée de la France, nouvelle édition
revue et corrigée par M. DUBAIL.



BIBLIOTHÈQUE DES JEUNES FRANÇAIS

Volumes gr. in-16 colombier

MICHELET (J.). La Prise de la Bastille et la Fête des Fédérations (illustré). — Les Croisades.
François 1^{er} et Charles-Quint (illustré). — Henri IV (illustré).

ERCKMANN-CHATRIAN. Avant 89 (illustré).

BLOCK (M.). *Entretiens familiers sur l'administration de notre pays.*

La France. — Le Département. — La Commune.

Paris, Organisation municipale. — Paris, Institutions administratives. — L'Impôt. — Le Budget.

L'Agriculture. — Le Commerce. — L'Industrie.

Petit Manuel d'Économie pratique.

GUICHARD (V.). Conférences sur le Code civil.

PONTIS. Petite Grammaire de la prononciation.

J. MACE. La France avant les Francs (illustré).

MAXIME LECOMTE. La Vocation d'Albert.



BIBLIOTHÈQUE DES PROFESSIONS

Industrielles, Commerciales et Agricoles

Le premier mérite des volumes qui composent cette *ENCYCLOPÉDIE*, c'est d'être accessibles par la forme, par le fond et par le prix, aux personnes qui ont le plus souvent besoin d'indications pratiques sur la profession dont elles font l'apprentissage, ou dans laquelle elles veulent devenir plus intelligemment habiles.

A ces personnes dont le nombre est très grand, il faut des *guides pratiques, exacts*, d'un format commode, d'un prix modéré, rédigés avec clarté et méthode, comme est clair et méthodique l'enseignement direct du professeur à l'élève ou celui du maître à l'apprenti. Telle a été la pensée qui a présidé à la publication de la *Bibliothèque des Professions industrielles, commerciales et agricoles*.

Elle se compose de onze séries qui se subdivisent comme suit:

- | | |
|--|---|
| A. SCIENCES EXACTES. | B. AGRICULTURE, JARDINAGE, etc. |
| B. SCIENCES D'OBSERVATION. | I. ÉCONOMIE DOMESTIQUE, COMPTABILITÉ, |
| C. ART DE L'INGÉNIEUR. | LÉGISLATION, MÉLANGES. |
| D. MINES ET MÉTALLURGIE. | J. FONCTIONS POLITIQUES ET ADMINISTRATIVES, |
| E. PROFESSIONS COMMERCIALES. | EMPLOIS DE L'ÉTAT, DÉPARTEMENTAUX |
| F. PROFESSIONS MILITAIRES ET MARITIMES. | ET COMMUNAUX, SERVICES PUBLICS. |
| G. ARTS ET MÉTIERS, PROFESSIONS INDUSTRIELLES. | K. BEAUX-ARTS, DÉCORATION, ARTS GRAPHIQUES. |

Les 116 volumes de cette collection sont publiés dans le format grand in-18; la plupart d'entre eux sont illustrés de gravures qui viennent mieux faire comprendre le texte; des atlas renferment les dessins qui exigent d'être représentés à grandes échelles et avec plus de détails.

Cahiers d'une Élève de Saint-Denis

COURS COMPLET ET GRADUÉ D'ÉDUCATION

POUR LES FILLES & POUR LES GARÇONS

A suivre en 6 années, soit dans la pension, soit dans la famille

Par deux anciennes Élèves de la Maison de la Légion-d'Honneur

ET

LOUIS BAUDE

ANCIEN PROFESSEUR AU COLLÈGE STANISLAS

17 volumes in-18, br., 57 fr.; cart., 61 fr. 50. Chaque volume se vend aussi séparément

ATLAS COMPLÉMENTAIRE

des Cahiers d'une Élève de Saint-Denis

Atlas classique de Géographie universelle, composé de 24 planches en plusieurs couleurs dressées par M. DUBAIL, ex-professeur adjoint de géographie à l'École de Saint-Cyr.

1 volume grand in-8, cartonné Bradel. Prix : 8 fr.

Bibliothèque d'Education et de Récréation

Volumes in-18 illustrés

- ALDRICH, Un Écolier américain.
 ALONE, † Autour d'un Lapin blanc.
 ANQUEZ, Histoire de France.
 ASTON (G.), L'Ami Kips.
 AUDOYNAUD, Entretiens familiers sur la Cosmographie.
 BENTZON, Yette. — Pierre Casse-Cou.
 BERTRAND, Lettres sur les révolutions du Globe.
 BIART (L.), Aventures d'un jeune Naturaliste. — Entre Frères et Sœurs. — Monsieur Pinson. — La Frontière indienne. — Le Secret de José. — Lucia Avila. — Voyage et Aventures de deux Enfants dans un Parc.
 BLANDY (S.), Le Petit Roi. — Les Épreuves de Norbert.
 BOISSONNAS (B.), † Une Famille pendant la guerre de 1870-71. — Un Vaincu.
 BRÉHAT (DE), Aventures de Charlot. — Aventures d'un petit Parisien.
 CANDÈZE (D'), Aventures d'un Grillon. — La Gileppe.
 CAUVAIN, Le Grand vaincu.
 CHAZEL (P.), Le Chalet des Sapins.
 CLEMENT (CH.), Michel-Ange, etc.
 DEQUET, Histoire de mon Oncle.
 DESNOYERS (L.), Aventures de Jean-Paul Choppart.
 ERCKMANN-CHATRIAN, L'Invasion. — Madame Thérèse.
 FARADAY, Histoire d'une Chandelle.
 FATH (G.), Un drôle de voyage.
 FOUCOU, Histoire du travail.
 GENIN, La Famille Martin.
 GENNEVRAÏE, Théâtre de Famille. — La petite Louisette.
 GOUZY, † Voyage d'une Fillette au pays des étoiles.
 GRATIOLET (P.), De la Physionomie.
 GRIMARD, Histoire d'une Goutte de Seve. — Jardin d'Acclimatation.
 HIRTZ (M^{lle}), Méthode de Coupe et de Confection.
 IMMERMANN, La Blonde Lisbeth.
 LAPRADE (V. DE), Le Livre d'un Père.
 LAURIE ANDRÉ, La Vie de collège en Angleterre. — Mémoires d'un Collégien. — Une Année de Collège à Paris. — Un Écolier hanovrien. — L'Héritier de Robinson. — Tito le Florentin.
 LAVALLEE (TH.), † Frontières de la France, avec Carte.
 LEGOUVÉ (E.), Les Pères et les Enfants (2 volumes). — Nos Filles et nos Fils.
 LEMAIRE, Les Expériences de la petite Madeleine.
 LOCKROY (M^{me}), Contes à mes nièces.
 MACÉ (JEAN), Contes du Petit-Château. — Arithmétique du Grand-Papa. — Histoire d'une Bouchée de Pain. — Les Serviteurs de l'Estomac.
 MAURY, Géographie physique. — Le Monde où nous vivons.
 MAYNE-REID, Les Chasseurs de Girafes. — Les Chasseurs de Chevelures. — Le Désert d'eau. — Les deux Filles du Squatter. — Les Jeunes Esclaves. — Les Jeunes Voyageurs. — Les Naufragés de l'île de Bornéo. — Le Petit Loup de mer. — Les Planteurs de la Jamaïque. — Les Robinsons de Terre ferme. — Le Chef au bracelet d'or. — La Sœur perdue. — William le Mousse. — Les Exploits des Jeunes Boërs. — La Montagne perdue. — La Terre de Feu. — Les Émigrants du Transvaal.
 MORTIMER D'OCAGNE, Les Grandes Ecoles civiles et militaires de France. (Historique, Programmes d'admission, Régime intérieur, Sortie, carrière ouverte).
 MULLER, Jeunesse des hommes célèbres. — Morale en action par l'histoire. Les Animaux célèbres.
 NOEL (E.), La Vie des fleurs.
 NODIER (CH.), Contes choisis (2 volumes).
 DE PARVILLE, Un Habitant de la planète Mars.
 RATISBONNE, † Comédie enfantine.
 RECLUS, Histoire d'un Ruissseau. — Histoire d'une Montagne.
 RENARD, Le fond de la Mer.
 SANDEAU (J.), La Roche aux Mouettes.
 SILVA (DE), Le Livre de Maurice.
 SIMONIN, Histoire de la Terre.
 STAHL (P.-J.), † Contes et Récits de Morale familière. — † Histoire d'un Ane et de deux jeunes Filles. — La Famille Chester. — Les Histoires de mon parrain. — † Les Patins d'argent. — Mon premier voyage en mer (adaptation). — † Marousia. — Les quatre Filles du docteur Marsch. — † Les Quatre Peurs de notre général.
 STAHL et LERMONT. — Jack et Jane. — † La petite Rose et ses sept Cousins.
 STAHL ET MULLER, Le Nouveau Robinson suisse.
 STAHL ET DE WAILLY, Scènes de la vie des Enfants en Amérique. — Les Vacances de Riquet et de Madeleine. — Mary Bell, William et Lafaine.
 TOLSTOI, † Enfance et Adolescence.
 VERNE (JULES) ET LAURIE, L'Épave du Cynthia.
 VERNE (JULES), Les premiers Explorateurs (2 vol.). — Les grands Navigateurs du XVIII^e siècle (2 vol.). — Les grands voyageurs du XIX^e siècle (2 vol.).
 ZURCHER ET MARGOLLÉ, Les Tempêtes. — Histoire de la Navigation. — Le Monde sous-marin.
 TYNDALL, Dans les Montagnes.
 VALLERY-RADOT, † Journal d'un Volontaire d'un an.

Bibliothèque d'Éducation et de Récréation

Volumes in-18 non illustrés

- AMPÈRE (A.-M.), Journal et Correspondance (3 vol.).
- ANDERSEN, Nouveaux Contes suédois.
- BERTRAND (J.), Les Fondateurs de l'astronomie.
- BRACHET (A.),  Grammaire historique (préface de Littré).
- DUBAIL, Cours classique de Géographie.
- DURAND (HIP.), Les Grands Prosateurs. — Les Grands Poètes.
- EGGER, Histoire du Livre.
- FRANKLIN (J.), Vie des Animaux, 6 vol.
- GRAMONT (COMTE DE),  Les Vers français et leur Prosodie.
- HIPPEAU (M^{me}), Cours d'Économie domestique.
- HUGO (VICTOR), Les Enfants (le Livre des mères).
- LAVALLEE (TH.), Histoire de la Turquie (2 vol.).
- LEGOUVÉ (E.), L'art de la Lecture. — Conférences parisiennes. — La Lecture en action.
- MACAULAY, Histoire et Critique.
- MICKIEWICZ (ADAM), Histoire de la Pologne.
- ORDINAIRE, Dictionnaire de mythologie — Rhétorique nouvelle.
- ROULIN (F.), Histoire naturelle.
- SAYOUS, Conseils à une Mère. — Principes de Littérature.
- STEVENSON, L'Ile au Trésor.
- SUSANE (GÉNÉRAL), Histoire de la Cavalerie, 3 vol. — Histoire de l'Artillerie.
- THIERS, Histoire de Law.
- VERNE (JULES), Autour de la Lune. — L'Archipel en feu. — Aventures de trois Russes et de trois Anglais. — Les Anglais au pôle Nord. — Un Capitaine de 15 ans (2 vol.). — Le Chancelier. — Cinq Semaines en ballon. — Les Cinq cents millions de la Bégum. — L'Étoile du sud. — Le Désert de glace. — Le Docteur Ox. — Les Enfants du Capitaine Grant (3 vol.). — Hector Servadac (2 vol.). — La Jangada (2 vol.). — Kéraban-le-Têtu (2 vol.). — L'Ile mystérieuse (3 vol.). — La Maison à vapeur (2 vol.). — Mathias Sandorf (3 vol.). — Les Indes-Noires. — Michel Strogoff (2 vol.). — Le Pays des Fourrures (2 vol.). — De la Terre à la Lune. — Le Tour du monde en 80 jours. — Les Tribulations d'un Chinois en Chine. — Une Ville flottante. — Vingt mille lieues sous les Mers (2 vol.). — L'École des Robinsons. — Le Rayon-Vert. — Voyage au centre de la Terre. — Un Billet de Loterie. — Robur le Conquérant. — $\frac{1}{2}$ Nord contre Sud (2 vol.). — $\frac{1}{2}$ Le Chemin de France.
- WENTWORTH HIGGINSON, Histoire des États-Unis.

 Voyages extraordinaires, 51 volumes.

PRIX DIVERS

- BRACHET (A.).  Dictionnaire étymologique de la langue française.
- CLAVÉ. Principes d'économie politique.
- GRIMARD. La Botanique à la campagne.
- MACE (JEAN). Théâtre du Petit Château.
- SOUVIRON. Dictionnaire des termes techniques.

ŒUVRES POÉTIQUES DE VICTOR HUGO

Édition élzévirienne sur papier de Hollande.

10 VOLUMES IN-18

Dessins et ornements de FROMENT

Odes et Ballades. — Les Orientales. — Les Feuilles d'Automne. — Chants du Crépuscule. — Voix intérieures. — Bayons et Ombres. — Les Contemplations, 2 volumes. — La Légende des Siècles. — Les Chansons des Rues et des Bois.

Tous les Ages Albums in-folio illustrés

- COLIN (A.). Etudes de Dessin d'après les grands maîtres.
- FRÉLICH. Sept Fables de La Fontaine, illustrées de 9 planches.
- GRANDVILLE ET KAULBACH. Album (œuvres choisies).
- CONTES DE PERRAULT. Illustrés par GUSTAVE DORÉ.

Publication faite par ordre du Ministre de la Marine

LA MARINE FRANÇAISE A L'EXPOSITION DE 1878

Deux grands volumes in-8° accompagnés de leurs Atlas

ŒUVRES COMPLÈTES
de
VICTOR HUGO
Édition définitive, NE VARIETUR
D'APRÈS LES MANUSCRITS ORIGINAUX

46 volumes in-8°

46 volumes in-8°
de 500 pages environ.

Brochés, 345 fr.
Reliés, 460 fr.



PRIX
du Volume

Broché, 7 fr. 50
Relié, 10 fr.

POÉSIE

- I. — Odes et Ballades. (*Préface inédite*). 1 vol.
- II. — Les Orientales. — Les Feuilles d'automne. 1 vol.
- III. — Chants du Crépuscule. — Voix intérieures. — Rayons et Ombres. 1 vol.
- IV. — Les Châtiments. 1 vol.
- V-VI. — Les Contemplations. 2 vol.
- VII-X. — La Légende des Siècles. 4 vol.
- XI. — Chansons des Rues et des Bois. 1 vol.
- XII. — L'Année Terrible. 1 vol.
- XIII. — L'Art d'être grand-père. 1 vol.
- XIV. — Le Pape. — La Pitié suprême. — Religions et Religion. — L'Ance. 1 vol.
- XV-XVI. — Les Quatre Vents de l'Esprit. 2 vol.

PHILOSOPHIE

- I. — Littérature et Philosophie mêlées. 1 vol.
- II. — William Shakespeare. 1 vol.

HISTOIRE

- I. — Napoléon le Petit. 1 vol.
- II-III. — Histoire d'un Crime. 2 vol.
- LE RHIN. 2 vol.
- VICTOR HUGO RACONTE. 2 vol.

DRAME

- I. — Cromwell. 1 vol.
- II. Hernani. — Marion de Lorme. — Le Roi s'amuse. 1 vol.
- III. Lucrèce Borgia. — Marie Tudor. — Angelo. (*1 acte inédit*). 1 vol.
- IV. — Ruy-Blas. — La Esmeralda. — Les Burgraves. 1 vol.

ROMAN

- I. — Han d'Islande. 1 vol.
- II. — Bay-Jargal. — Dernier Jour d'un Condamné. — Claude Gueux. 1 vol.
- III-IV. — Notre-Dame de Paris. 2 vol.
- V-X. — Les Misérables. 5 vol.
- X-XI. — Les Travailleurs de la mer (précédés de l'Archipel de la Manche). 2 vol.
- XII-XIII. — L'Homme qui rit. 2 vol.
- XIV. — Quatrevingt-treize (*complet*). 1 vol.

ACTES ET PAROLES

- I. — Avant l'exil. 1 vol.
- II. — Pendant l'exil. 1 vol.
- III. — Depuis l'exil. 1 vol.

POUR ILLUSTRER CETTE ÉDITION :

Suite de 100 Dessins

DE FRANÇOIS FLAMENG

Gravés à l'eau-forte par

MM. Daumont, Duvivier, Léopold Flameng, Géry-Bichard, Lalauze, H. Lefort
De Los Rios, L. Lucas, J.-L. Massard, Mongin, Teyssonnières, Toussaint, etc.

et publiés en

10 Séries à 15 francs

Les 6 premières séries sont en vente.

Chaque série est livrée dans un élégant carton et contient 10 gravures précédées d'une feuille de garde sur laquelle est imprimée l'explication du sujet représenté.

1 Voyage d'une fillette au pays des Étoiles, XII^e ENTRETIEN, p. 70.

2 Voyage d'une fillette au Pays des étoiles, p. 200.

3 Voyage d'une fillette au Pays des étoiles, p. 16 et 37.

4 Une fois pour toutes, j'avertis mes jeunes lectrices que lorsque j'emploie cette forme impérative : « Reprenez votre fil à plomb..... » j'indique une expérience facile à faire et qui n'exige aucun appareil. Je ne saurais trop les engager à faire alors l'expérience indiquée. Les lois qui en découlent se graveront ainsi à jamais dans leur mémoire, car rien ne vaut avoir vu pour comprendre, et surtout pour retenir. Quand il s'agit au contraire, soit d'une expérience qui exigerait des appareils compliqués, soit même d'une expérience irréalisable, comme je suis obligé d'en imaginer beaucoup pour mettre à la portée de jeunes intelligences des notions quelquefois un peu difficiles, je me sers de la forme hypothétique, supposons que..... Imaginez que.... etc

5 XIV^e ENTRETIEN, p. 66.

6

Del gran calel del cel amagabo la meco.

(Du grand calel du ciel (la nuit) cachait la mèche.)

7 Supposons, par exemple, que le thermomètre marque 50 degrés centigrades, combien marquera-t-il de degrés Réaumur ? Évidemment les $\frac{8}{10}$ de 50, c'est-à-dire 40 degrés Réaumur. Supposons que le thermomètre marque 30 degrés centigrades le nombre de degrés Réaumur correspondant sera de même $\frac{8}{10}$ de 30, ou 24. Réciproquement, à combien de degrés centigrades répondent 32 degrés Réaumur ? A $\frac{10}{8}$ fois le $\frac{1}{8}$ de 32, ou à 10 fois 4, ou à 40 degrés centigrades.

8 XII^e ENTRETIEN, dernier alinéa.

9 XX^e ENTRETIEN, p. 93.

10 Il est à peine besoin de faire remarquer que les calculs ne sont qu'approchés, et destinés seulement à donner une idée de la manière dont on les ferait en prenant les vrais coefficients, etc.

11 Ou plus exactement de 4 degrés $\frac{1}{10}$.

12 Voyez, pour la complète intelligence de cette expression, « en opposition », le Voyage d'une fillette au Pays des étoiles, p. 165.

13 Bien que ce ne soient pas tout à fait ces deux angles qui sont l'angle d'incidence et l'angle de réflexion, il n'y a aucun inconvénient à les substituer ici aux véritables

14 En général, mais ce n'est pas une règle sans exception. Les corps peints en blanc de céruse absorbent en effet autant de chaleur que ceux qui sont couverts d'une couche de noir de fumée.

15 Elle en est les 96/100.

Promenade d'une fillette autour d'un laboratoire

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6567174w>

À propos de cette édition numérique

Cette édition numérique est issue d'un programme de numérisation du patrimoine mené par la Bibliothèque nationale de France pour enrichir Gallica, la bibliothèque numérique de la BnF et de ses partenaires. En ligne depuis 1997, Gallica s'enrichit chaque semaine de milliers de nouveautés et offre aujourd'hui accès à plusieurs millions de documents numérisés : imprimés (livres, revues et fascicules de presse), manuscrits, estampes et photographies, documents sonores, partitions, cartes et plans... Les imprimés sont d'abord numérisés en mode image (prise de vue photographique) puis le texte est extrait de manière automatique grâce aux techniques de reconnaissance optique de caractères (*optical character recognition* ou OCR). Les algorithmes informatiques utilisés définissent également de manière automatique la structure de l'ouvrage (en-têtes et pieds de page, illustrations, tableaux, etc.). L'état du document imprimé (taches, pages déchirées) et les

caractéristiques de la typographie employée peuvent entraîner des erreurs lors de l'OCR. Le texte ainsi produit est ensuite relu, corrigé, et converti au format ePub (*electronic publication* ou « publication électronique »), format ouvert standardisé pour les livres numériques. Malgré tous nos efforts pour respecter au mieux le format original du livre, il est possible que vous retrouviez des coquilles ou des problèmes de mise en page qui auraient échappé au relecteur. N'hésitez pas à nous signaler ces anomalies à l'adresse gallica@bnf.fr.

Conditions d'utilisation

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

Cliquer ici [pour accéder aux tarifs et à la licence](#)

2/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

3/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

4/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

5/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6/ Pour obtenir la reproduction d'un document de Gallica en haute définition, contacter reproduction@bnf.fr

7/ Pour utiliser un document de Gallica sur un support de publication commercial, contacter utilisation.commerciale@bnf.fr