



PHYSIQUE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

Beaucoup de sciences modernes, telles que la mécanique, l'électrotechnique, la téléphonie, la technique radio, sont entièrement basées sur la physique.

Par conséquent, dans les leçons du présent cours, on retrouvera beaucoup d'idées et de termes dérivant directement de la physique.

Par exemple, on utilise fréquemment les mots : vitesse, puissance, énergie, dissipation thermique, onde, interférence, radiation, atome, cristal, etc.... : ce sont tous des termes se référant à des expériences et des connaissances de physique.

Nous n'avons pas voulu traiter le sujet des phénomènes physiques généraux, afin d'éviter des parenthèses trop longues qui auraient pu détourner votre attention de l'objet principal de ce cours.

D'autre part, pour que les explications soient utiles, il faut qu'elles se suivent dans un certain ordre, en passant des idées simples à celles plus compliquées.

Il est évident que l'on ne peut arriver à ce résultat que si l'on consacre quelques leçons aux seuls phénomènes physiques.

Nous avons donc élaboré quatre leçons séparées, dans lesquelles se trouvent rassemblées les notions les plus générales de la physique, dans le but de rendre plus facile l'étude des différentes leçons du cours de Base en Electronique.

1 – CORPS EN MOUVEMENT

Le mouvement fut certainement le premier phénomène qui se présenta à l'attention des savants de l'Antiquité.

"TOUT COULE COMME L'EAU DU FLEUVE" assurait un Philosophe Grec qui voyait se mouvoir non seulement les hommes, les animaux et les choses, mais observait aussi le mouvement continu de transformation de ce qui normalement paraît immobile.

A l'encontre de cette opinion, d'autres Philosophes disaient que **"TOUT EST IMMOBILE ET LE MOUVEMENT EST SEULEMENT L'ILLUSION, UNE MANIERE TROMPEUSE DE VOIR LES CHOSES"**.

Les physiciens modernes abordent le problème avec un esprit plus pratique et affirment : **"IL EXISTE DES CHOSES QUE NOUS POUVONS CONSIDERER COMME ETANT IMMOBILES (nous disons même qu'elles sont immobiles dans le lieu où elles sont placées) et D'AUTRES QUI SE MEUVENT D'UN LIEU A L'AUTRE, EN UTILISANT POUR CELA UN CERTAIN TEMPS"**.

Aujourd'hui, au lieu de discuter sur ce qu'est le mouvement, comme le faisaient les philosophes de l'Antiquité, il convient plutôt de définir **"COMMENT CERTAINES CHOSES SE MEUVENT ET COMMENT CERTAINES AUTRES RESTENT IMMOBILES"**.

Nous suivrons le conseil des physiciens modernes en partant d'expériences simples, que tous peuvent faire et qu'il suffit même d'imaginer.

1 – 1 – VITESSE – INERTIE

Mettons-nous en position favorable et observons le passage des véhicules sur une route, comme par exemple le montre la Figure 1.

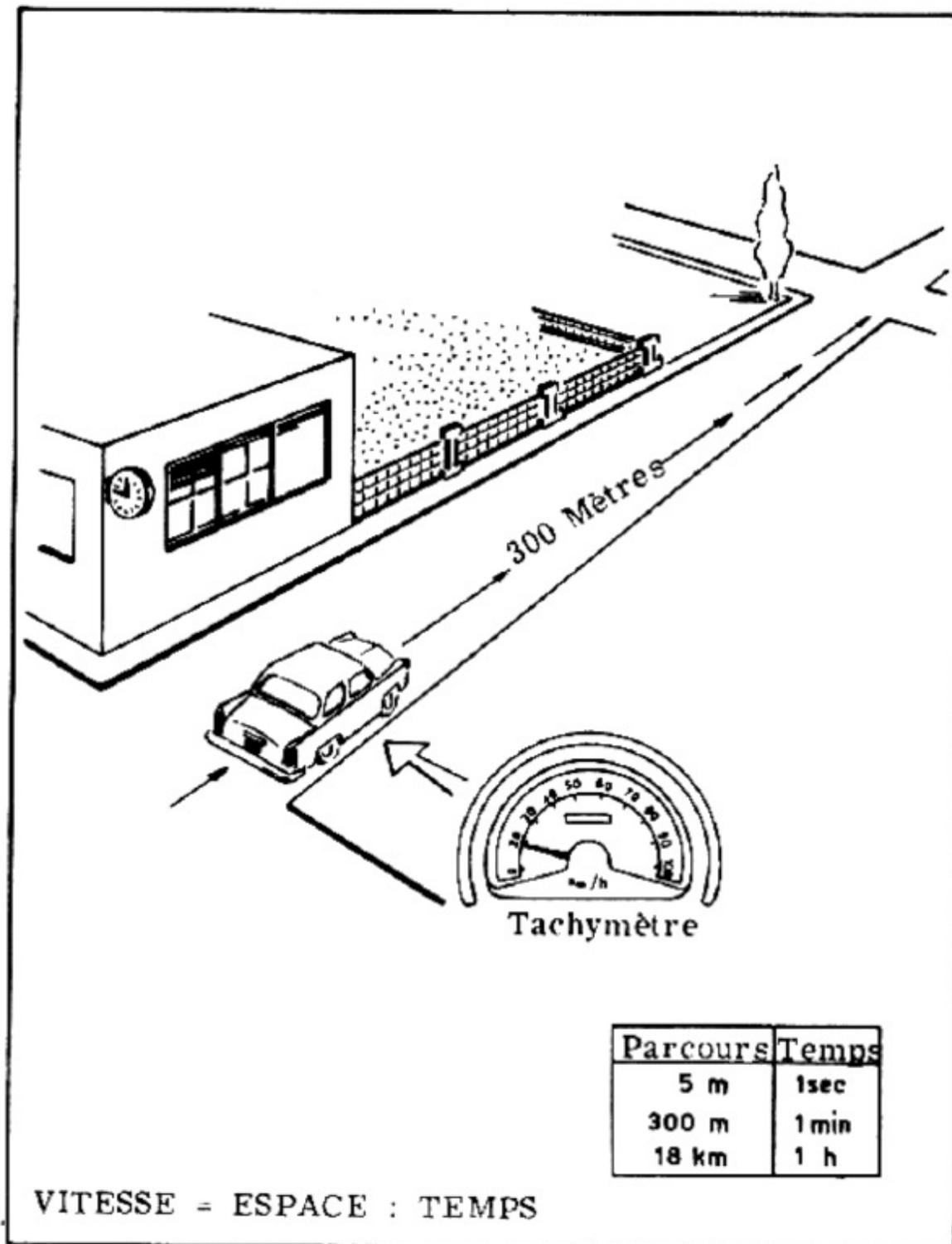


Figure 1

Certains véhicules sont rapides, d'autres lents, d'autres ni rapides ni lents : en bref nous disons que les véhicules qui passent ont des VITESSES DIFFÉRENTES.

LA VITESSE FAIT PARCOURIR UN CERTAIN ESPACE PENDANT UN CERTAIN TEMPS.

En effet, en observant la circulation de notre rue, nous pouvons constater que les véhicules les plus rapides couvrent les 300 mètres du parcours en un temps très court, tandis que pour parcourir la même distance les véhicules les moins rapides ont besoin d'un temps plus long.

Toutefois, nous pouvons également présenter ce fait d'une autre façon : un véhicule plus rapide fait plus de chemin dans le même temps qu'un autre moins rapide. Cette affirmation est aussi vraie que la précédente, parce qu'une automobile plus rapide qui part plus tard, peut toujours au bout d'un certain temps, dépasser une autre voiture moins rapide.

La deuxième manière de présenter les choses est plus utile que la première, parce qu'elle permet de fixer un critère très simple pour mesurer la vitesse (analogue aux critères par lesquels on mesure, par exemple, les distances en mètres, ou les temps en minutes).

Voici comment on procède :

— ON FIXE UNE DURÉE, c'est-à-dire un intervalle de temps qui est égal pour chaque vitesse que l'on veut mesurer ; par un exemple une minute, ou une heure, ou une seconde.

— ON MESURE LA DISTANCE couverte par le corps qui se meut dans le temps que l'on a choisi, c'est-à-dire en une minute, ou en une heure, ou en une seconde. Cette distance peut être mesurée en mètres ou en kilomètres, ou en toute autre unité de longueur plus commode à utiliser.

— ON ASSOCIE le chiffre donné par la mesure de distance, l'unité choisie pour la longueur (mètre, kilomètre etc.), l'unité de temps choisie (minute, heure etc.) et l'on obtient la mesure de la vitesse.

Voyons un exemple.

On suppose que l'automobile de la figure 1, parcourt une ligne droite de 300 mètres en une minute.

Pour mesurer la vitesse de la voiture, convenons de prendre la minute comme unité de mesure du temps et le mètre comme unité de mesure de la distance. En associant toutes ces données, on peut dire simplement que la vitesse est de 300 mètres par minute.

En utilisant seulement des chiffres et des symboles, on écrira : 300 m/min.

Cependant, la vitesse d'une automobile est habituellement indiquée en KILOMETRES A L'HEURE ou en utilisant des symboles, en km/h, comme on le voit écrit sur le cadran du tachymètre (on appelle tachymètre, le dispositif destiné à mesurer la vitesse). Voyons donc comment on peut exprimer la mesure précédente de 300 m/min. en km/h.

En une heure il y a 60 minutes ; si l'automobile conserve toujours la vitesse à laquelle elle a parcouru les 300 mètres, elle fera en une heure un trajet soixante fois plus long, soit 18.000 m ($300 \times 60 = 18.000$).

Ce calcul très simple permet déjà de dire que la vitesse est de 18.000 mètres à l'heure, ce qui est égal à 300 m/min.

Simplifions encore : puisque 18.000 mètres sont l'équivalent de 18 kilomètres, la même vitesse de 18.000 mètres à l'heure peut également s'exprimer par 18 kilomètres à l'heure, soit 18 km/h comme l'indique l'échelle du tachymètre de la figure 1.

Il peut aussi arriver que l'on veuille comparer la vitesse d'une voiture avec celle d'un autre corps en mouvement très rapide, par exemple le projectile d'un fusil.

Le projectile tiré d'un fusil a une vitesse d'environ 800 mètres par seconde ; il convient donc dans ce cas, d'exprimer la vitesse de la voiture en mètre par seconde (symbole m/s).

Le procédé est aussi simple que le précédent, par lequel nous sommes passés des m/min. aux km/h.

La seconde est soixante fois plus courte que la minute, par conséquent l'automobile qui parcourt 300 mètres en une minute couvrira un trajet soixante fois plus court en une seconde et fera donc 5 mètres ($300 : 60 = 5$).

De cette façon nous constatons que la vitesse de 300 m/min. qui, comme nous l'avons déjà vu, est égale à 18 km/h, est aussi égale à 5 mètres par seconde, ou en employant les symboles, à 5 m/s.

Connaissant la vitesse de l'automobile en mètres par seconde, nous pouvons la comparer à celle du projectile, qui est également donnée en mètres par seconde. La comparaison s'effectue en divisant 800 par 5 : on trouve ainsi que le projectile est réellement 160 fois plus rapide que l'automobile qui roule à 18 km/h.

A partir des exemples donnés, il apparaît clairement comment on peut indiquer les différentes mesures des vitesses et donc étudier les mouvements de tous les corps se déplaçant d'un mouvement régulier à vitesse constante.

Considérons maintenant une propriété générale de tous les corps, qu'ils soient en mouvement ou immobiles, c'est l'INERTIE.

L'inertie peut facilement être observée lorsqu'on se trouve en autobus. Lorsque l'autobus se met en mouvement, tous les voyageurs debout ressentent nettement une poussée vers l'arrière, bien que personne ne les touche. Lorsque l'autobus freine pour s'arrêter, les voyageurs ressentent une poussée en avant.

En réalité, ni dans l'un ni dans l'autre cas, les voyageurs ne reçoivent de poussée, c'est-à-dire qu'ils ne sont heurtés par personne, ni vers l'arrière, ni vers l'avant.

Lorsque l'autobus se met en mouvement, tous les voyageurs sont portés en avant, mais leur corps résiste à ce déplacement et il reste un peu en arrière par rapport à leurs pieds qui eux adhèrent au plancher de l'autobus et suivent donc plus rapidement le mouvement de l'autobus.

Au contraire, lorsque le chauffeur freine brutalement, le corps du voyageur continue d'aller en avant pendant encore quelque temps, tandis que les pieds restent en arrière, car cette fois-ci aussi, ils suivent plus rapidement que le reste du corps l'allure de l'autobus.

Cette expérience qui est certainement connue de tous, peut s'interpréter de la façon suivante : **TOUS LES CORPS IMMOBILES ONT TENDANCE A CONSERVER LEUR PROPRE ETAT D'IMMOBILITE ET TOUS LES CORPS EN MOUVEMENT ONT TENDANCE A CONSERVER LEUR PROPRE VITESSE.**

Pour vaincre ces tendances naturelles, il est nécessaire de faire un certain effort pendant un certain temps.

Cette résistance des corps au changement d'état s'appelle l'**INERTIE**, **INERTIE DE REPOS** pour les corps immobiles, **INERTIE DE MOUVEMENT** pour les corps qui se meuvent à une vitesse déterminée.

La figure 2 illustre ces deux cas d'inertie.

Il est facile de prévoir ce qui arriverait si le chauffeur mettait son camion en mouvement de façon brutale : la caisse serait jetée à terre, ou plutôt par inertie, elle tendrait à rester dans la position dans laquelle elle se trouve : mais, puisque le soutien du camion viendrait à lui faire défaut, elle finirait par tomber à terre.

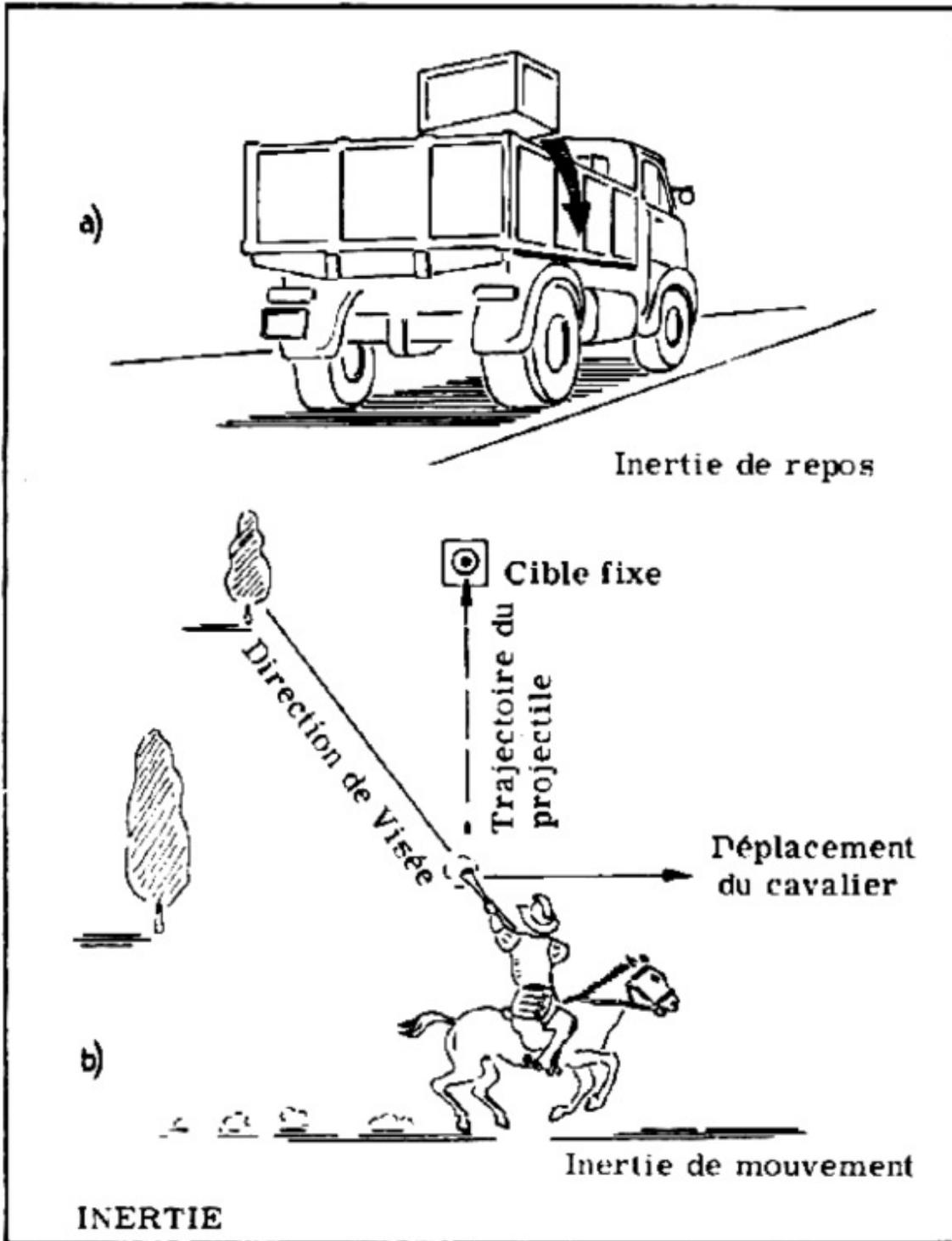


Figure 2

Moins évident, apparaît le cas de ce cavalier qui vise une cible fixe (figure 2).

On suppose que le cheval galope dans la direction indiquée par la flèche. Il entraîne avec lui à la même vitesse, le cavalier, le fusil et le projectile se trouvant dans le canon du fusil.

Pour atteindre la cible, nous trouverions peut-être logique de viser le centre du cercle mais notre cavalier n'en fait qu'à sa tête, il vise l'arbre et fait mouche sur la cible ! Comment est-ce donc possible ?

Il est certain que le projectile n'a pas suivi la direction de la visée, mais pourquoi ?

La réponse est fort simple. Si le cavalier était resté immobile, visant l'arbre, il aurait touché l'arbre ; mais il était en mouvement et en même temps le projectile dans le canon du fusil se trouvait en mouvement.

Le tir avait pour but de mettre le projectile dans la direction de visée ; mais ce projectile était déjà animé d'un mouvement, il avait une vitesse propre, et, par inertie, avait tendance à conserver ce mouvement dans la direction du déplacement du cheval.

L'INERTIE DE MOUVEMENT, en agissant sur le projectile, même lorsque celui-ci se trouve déjà hors du canon du fusil, l'a éloigné de la direction de visée et l'a dévié vers la cible.

Dans les cas de ce genre, TOUT SE PASSE COMME SI DEUX MOUVEMENTS DISTINCTS ETAIENT APPLIQUES A UN MEME CORPS. CEUX-CI SE CORRIGEANT MUTUELLEMENT, LE CORPS SUIVIT UN PARCOURS INTERMEDIAIRE.

La barque de la figure 3 subit un phénomène à peu près semblable.

Ici le courant a une direction et le batelier dirige la barque dans une direction différente.

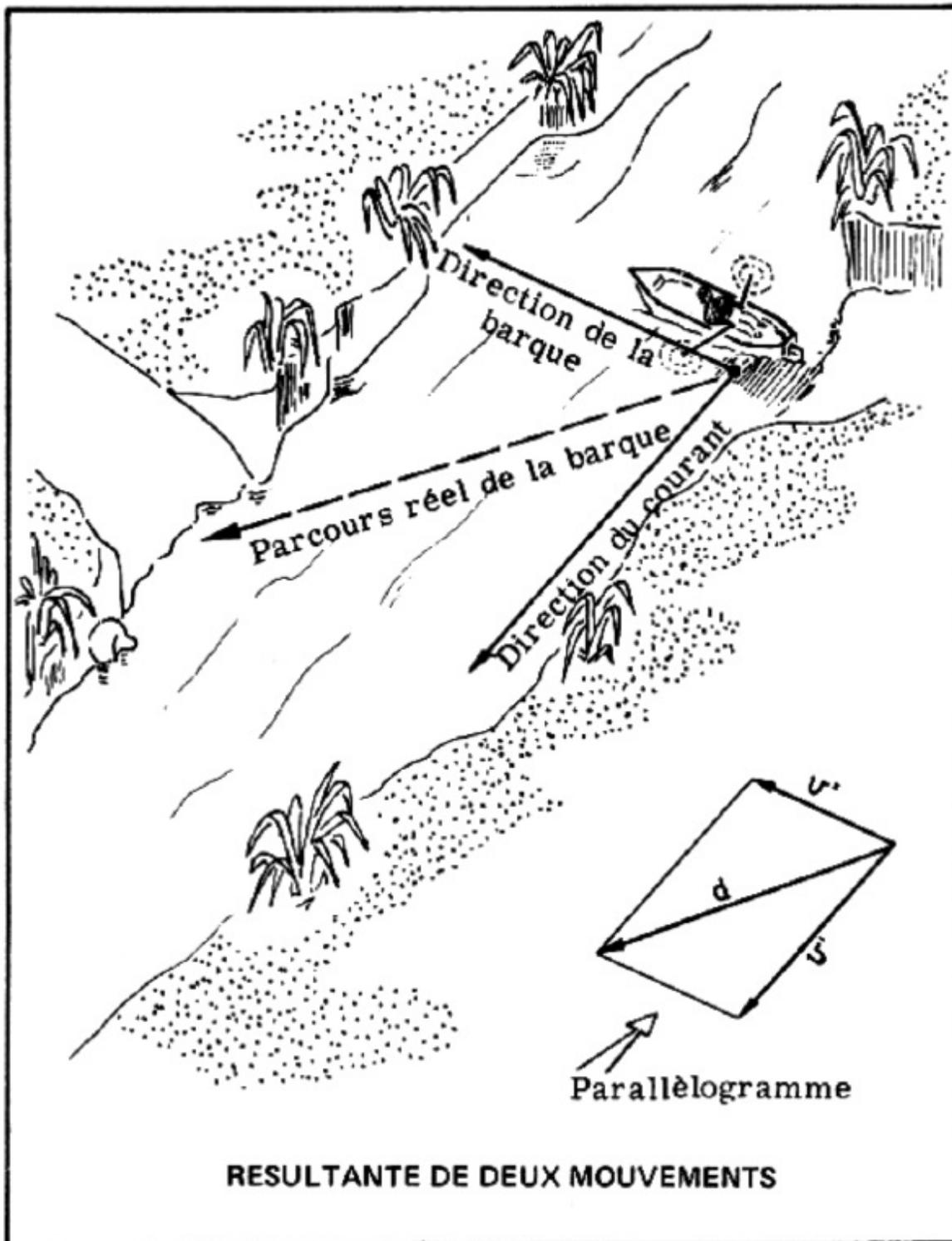


Figure 3

La barque, en suivant un peu le courant et un peu l'impulsion donnée par le batelier, effectue un parcours intermédiaire et ainsi accoste à la rive, au point précis choisi pour le débarquement.

Si on le veut, on peut même prévoir quel sera le parcours réel de la barque, à condition de connaître la **VITESSE V' DU COURANT ET LA VITESSE V''** donnée à la barque par les rames.

Une fois ces deux vitesses connues, on construit un parallélogramme comme celui montré sur la figure 3, en ayant soin de dessiner le côté v' d'une longueur proportionnelle à la vitesse du courant et le côté v'' proportionnel à la vitesse donnée à la barque par les rames.

On oriente respectivement le côté v' dans la direction du courant et le côté v'' dans la direction de la barque : **LE PARCOURS REEL DE LA BARQUE SERA INDIQUE PAR LA DIAGONALE d DU PARALLELOGRAMME.**

1 - 2 - FORCE - EQUILIBRE

Nous venons de voir le **MOUVEMENT** et la mesure de la **VITESSE**, l'effet de l'inertie et le déplacement d'un corps animé simultanément de deux vitesses.

Cependant, nous n'avons pas encore expliqué pourquoi un corps se met en mouvement, perd ou gagne de la vitesse, ou reste immobile.

Sur la base du principe d'inertie, un corps immobile devrait continuer à rester immobile et un corps en mouvement devrait continuer à se mouvoir ; si cela n'est pas ainsi, il doit bien y avoir une cause, c'est-à-dire quelque chose qui est en mesure de produire les mouvements des corps et aussi de s'y opposer. Ce quelque chose est la **FORCE**.

LA FORCE PEUT SE MANIFESTER DE DIVERSES FAÇONS : il existe des forces musculaires, la force de traction d'un moteur, la force exercée sur les poids qui sont toujours attirés vers le bas, la force exercée par la pression de l'air etc...

En outre LA FORCE PEUT ETRE INSTANTANEE OU CONTINUE elle peut produire ou arrêter le mouvement des corps, elle peut comprimer ou tendre un ressort ; la force PEUT EGALEMENT S'EQUILIBRER AVEC UNE AUTRE FORCE ET EN ANNULER LES EFFETS.

Nous avons déjà vu comment on étudie le mouvement régulier, à vitesse constante (mouvement de la voiture, du projectile, etc..). Voyons maintenant comment s'équilibrent deux forces appliquées à un corps immobile, c'est-à-dire comment se produisent les conditions d'EQUILIBRE STATIQUE. Dans la figure 4 sont présentés trois cas de FORCES EN EQUILIBRE STATIQUE.

Voyons d'abord le cas de la corde sur laquelle on tire (figure 4-a). Imaginons qu'un petit diable coupe la corde d'un brutal coup de hache au point A, pendant que les deux personnes qui la tiennent aux deux extrémités tirent dessus de toutes leurs forces.

Un instant avant le coup de hache, TOUT EST IMMOBILE, parce que les FORCES des adversaires sont égales et opposées, mais immédiatement après le coup de hache, tous les deux tombent en arrière en emmenant avec eux la moitié de la corde. Ils démontrent ainsi que des forces étaient en réalité appliquées au point central A de la corde, même si en pratique on n'en voyait pas les effets, parce que tout était immobile.

Quelque chose de semblable se produit dans le cas de la balance (figure 4-b) et dans celui des deux vases communicants (figure 4-c). Dans le cas de la balance les deux forces sont représentées par deux poids qui agissent tous deux vers le bas ; en supposant que les poids sont égaux, les deux plateaux de la balance restent immobiles au même niveau.

Dans le cas des vases communicants, les deux forces sont représentées par les pressions exercées par les liquides des deux vases. A la différence

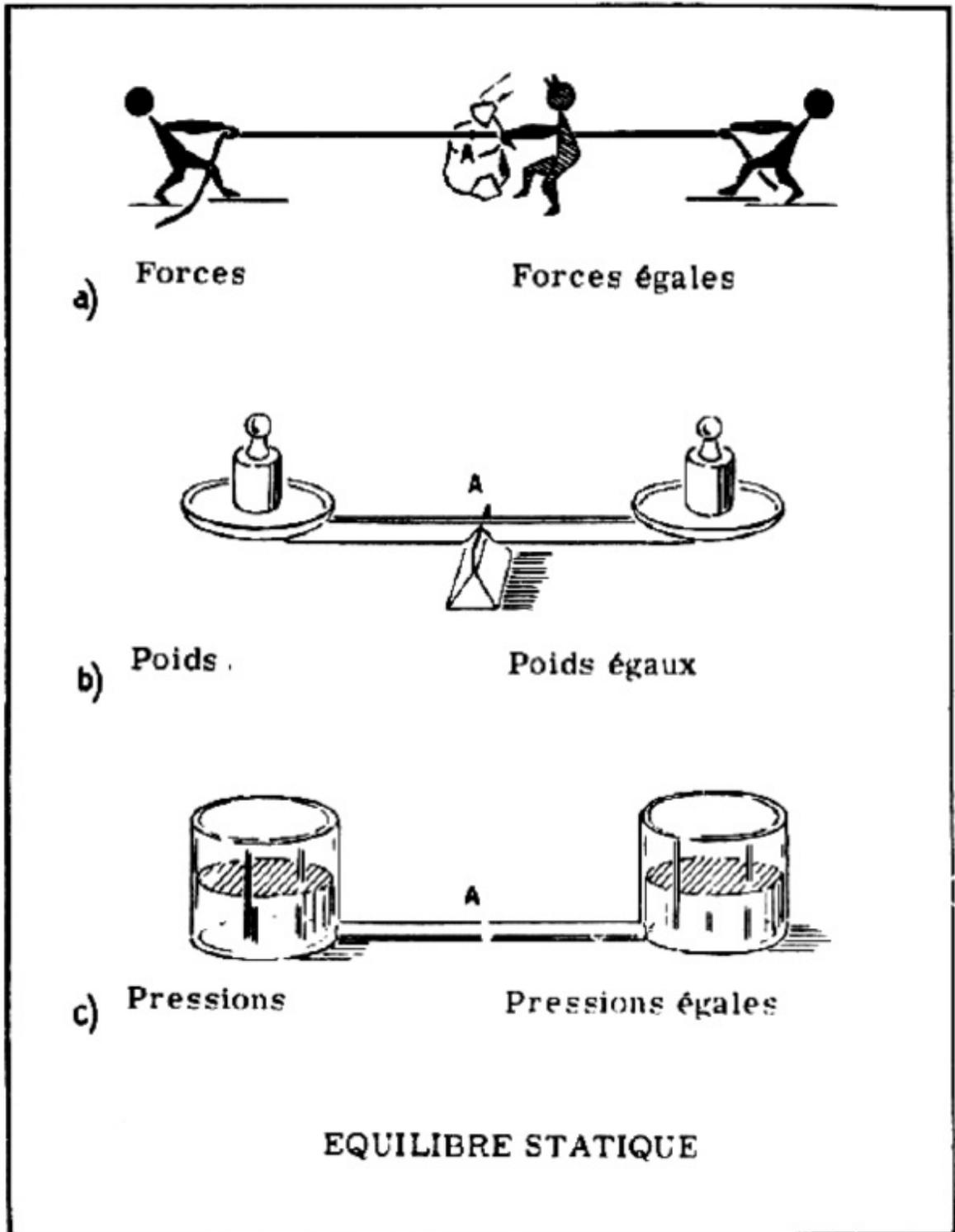


Figure 4

de la corde sur laquelle on tire et de la balance, les forces qui sont dues à des pressions, deviennent automatiquement égales et réalisent la condition d'équilibre lorsque les liquides des deux vases atteignent le même niveau.

Cet équilibre se produit toujours, car si le niveau du contenu d'un vase est plus élevé, le liquide passe spontanément dans l'autre vase à travers le tuyau de communication, jusqu'à ce que les deux niveaux soient égaux.

En plus de l'équilibre statique, il existe aussi un équilibre concernant les corps en mouvement et pour cette raison on l'appelle EQUILIBRE DYNAMIQUE.

Si on prend un seau d'eau et qu'on le fasse tourner rapidement de bas en haut, on pourrait s'attendre à ce que l'eau tombe à terre lorsque le seau est en haut. En réalité cela ne se produit pas et l'eau reste au fond, même lorsque le seau est tourné vers le bas.

Tout se passe comme si, sous l'effet de la rotation, il naissait une force qui pousse l'eau vers l'extérieur et comme l'eau ne peut pas s'échapper du seau vers l'extérieur, elle reste immobile dans le récipient.

Cette force n'est pas imaginaire, elle est bien réelle. En effet, en faisant l'expérience, on constate que le bras est tiré très énergiquement et que le seau s'échapperait de la main si l'on n'en tenait pas l'anse très énergiquement.

La force qui tire le bras s'appelle la FORCE CENTRIFUGE.

Le dispositif de la figure 5 nous permettra de mieux étudier l'équilibre dynamique qui se produit pendant le mouvement circulaire d'un corps.

Le disque tournant, entraîne dans son mouvement la bille placée dans sa rainure.

Le DYNAMOMETRE est un instrument qui sert à mesurer les forces.

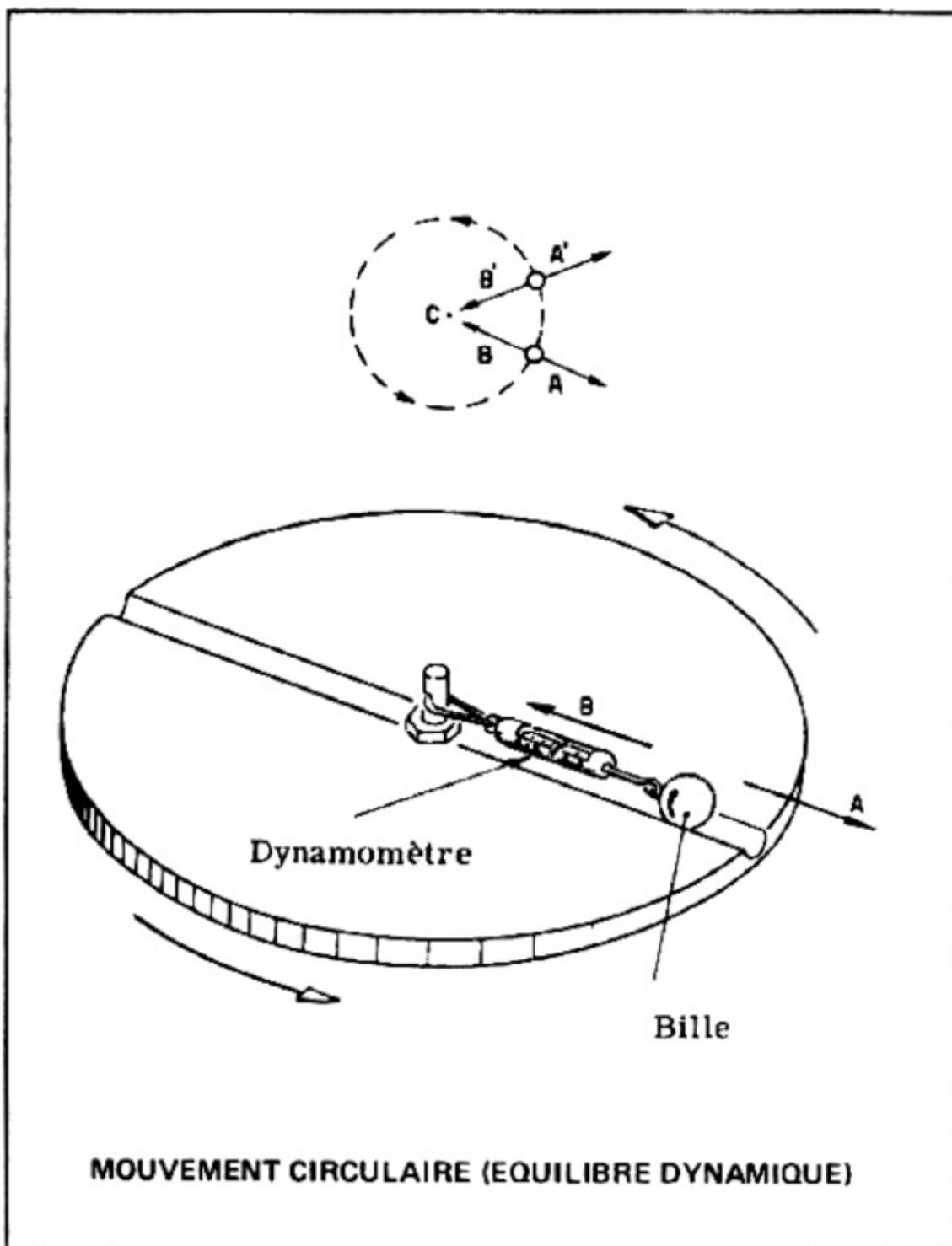


Figure 5

Lorsque le disque est immobile, l'index du dynamomètre est sur le zéro et la bille se trouve très près du centre. Dès que le disque commence à tourner, la bille s'éloigne du centre le long de la rainure et le dynamomètre révèle l'existence d'une certaine force A qui est justement la **FORCE CENTRIFUGE**.

Le dynamomètre est constitué intérieurement par un ressort, se terminant par un crochet auquel est fixée la bille.

Ce ressort se tend lorsque la bille est tirée vers l'extérieur par l'effet de la force centrifuge A ; il résiste à l'action de A , en développant à son tour, une autre force B qui est due à sa tension et orientée vers le centre du disque.

Les deux forces A et B s'opposent l'une à l'autre et lorsque B arrive à être égale à A , la bille cesse de s'éloigner du centre du disque et reste en équilibre.

La force B , exercée par le ressort du dynamomètre est appelée **FORCE CENTRIPÈTE**.

La force centripète est constamment tournée vers le centre C comme l'indiquent les deux flèches B et B' sur le schéma de la figure 5. Par contre, la force centrifuge est constamment tournée vers l'extérieur comme l'indiquent les flèches A et A' de ce même schéma.

Ces deux forces ne peuvent pas se dissocier et sont liées au mouvement circulaire.

1 - 3 - PESANTEUR - ACCELERATION - MASSE

Les **FORCES CENTRIFUGES** et **CENTRIPÈTES** sont deux exemples de forces continues en équilibre. Examinons maintenant un cas très courant de force continue engendrant un mouvement : la force de **PESANTEUR**.

LA PESANTEUR est ce phénomène que nous connaissons tous et que nous expérimentons lorsqu'un objet tombe à terre.

Par le terme de **PESANTEUR** on entend l'attraction exercée par la terre sur tous les corps, les faisant tomber lorsqu'ils sont libres de se mouvoir.

Pour étudier le mouvement d'un corps soumis à la pesanteur, imaginons que nous effectuons l'expérience présentée figure 6.

Au sommet du gratte-ciel, un homme se prépare à laisser tomber une sphère d'acier.

Aux points d'observation indiqués par les numéros 1, 2, 3, etc... se trouvent des observateurs prêts à enregistrer le temps, à l'aide d'un chronomètre.

Au temps zéro, l'homme lâche la sphère du sommet du gratte-ciel et dans les secondes qui suivent, tous les observateurs enregistrent le passage de la sphère tombant vers la terre. Après rassemblement de ces enregistrements, on pourra noter que la sphère est passée devant le poste N1 une seconde après son départ, devant le poste N2 deux secondes après, devant le poste N3 trois secondes après, devant le poste N4 quatre secondes après, et, enfin qu'elle a touché terre près du poste N5, cinq secondes après son départ.

La durée du passage de la sphère d'un observateur à l'autre a toujours été de une seconde, mais les distances entre un observateur et le suivant sont différentes : d'abord petites elles deviennent progressivement plus grandes, en passant de 4 m au début à 44 m à la fin. Donc, puisque la sphère parcourt pendant chaque seconde une distance plus grande que pendant la seconde précédente, on doit admettre qu'elle acquiert de la **VITESSE** pendant sa chute.

Si, à la place d'un chronomètre, les observateurs avaient à leur disposition un instrument apte à mesurer la vitesse de chute de la sphère dans l'instant où elle passe près d'eux, on constaterait (en négligeant les effets dus à la résistance de l'air), qu'au bout de une seconde, la vitesse acquise est de

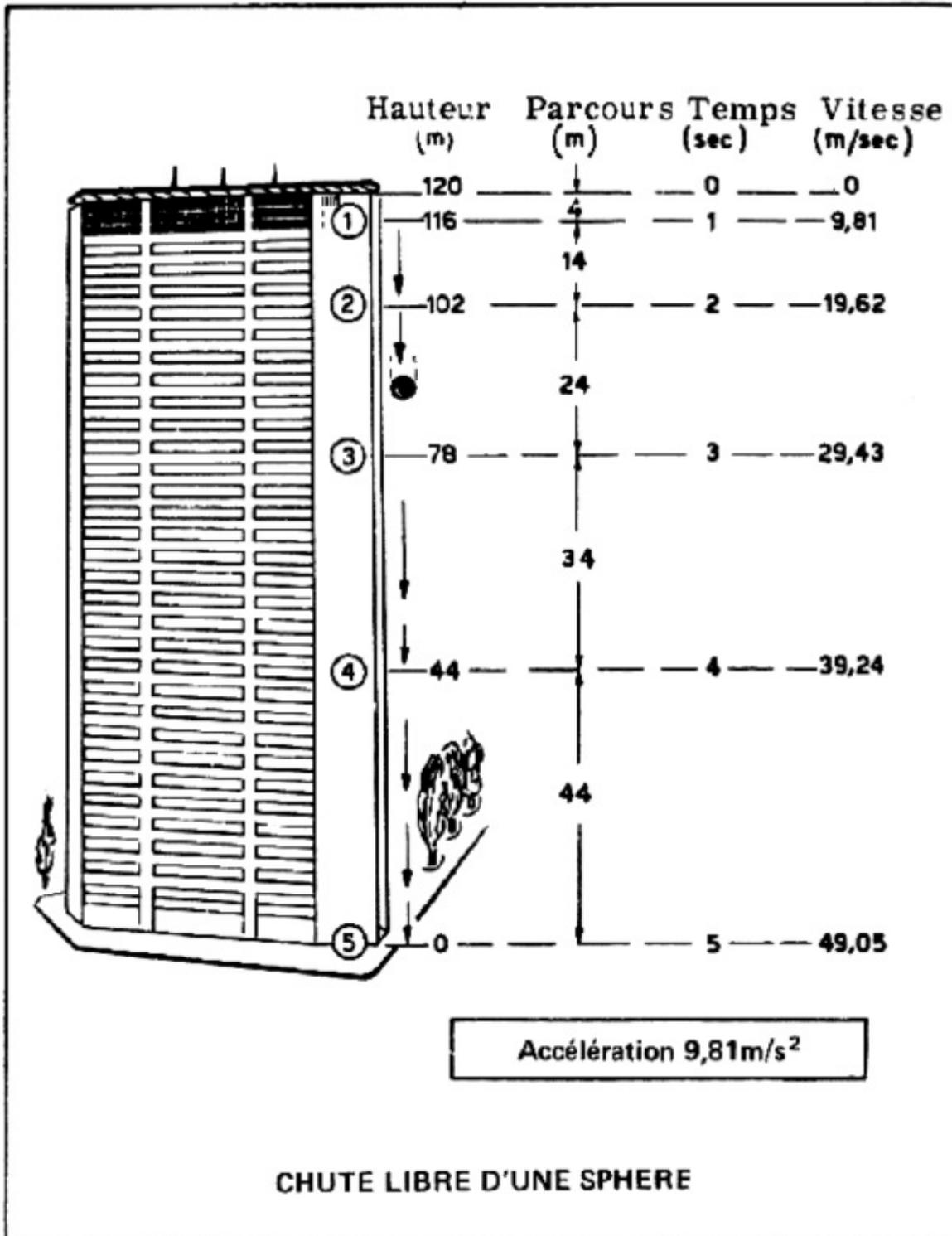


Figure 6

9,81 m/s, qu'au bout de deux secondes elle est de 19,62 m/s et ainsi de suite jusqu'à atteindre la vitesse de 49,05 m/s au moment où la sphère touche terre.

L'augmentation de vitesse est appelée ACCELERATION.

Les vitesses aux différents points sont indiqués dans la dernière colonne de la figure 6.

En observant ces valeurs, on remarque que la vitesse augmente de 9,81 m/s à chaque seconde. On dit que l'accélération est donc égale à 9,81 m/s par seconde ou encore à 9,81 m/s/s, ce qui s'écrit habituellement : 9,81 m/s². On en conclut également que l'accélération est constante (elle reste la même à chaque seconde).

CONCLUSION : L'ACCELERATION DE LA PESANTEUR EST CONSTANTE ET ELLE EST EGALE A 9,81 m/s² POUR TOUS LES CORPS QUI TOMBENT A TERRE DANS LE VIDE.

La réalité de cet énoncé a été démontrée par l'expérience suivante : on a mis dans un tube de verre une bille de plomb et une plume : on a enlevé l'air du tube en réalisant un vide très poussé, puis on a retourné brusquement le tube, de façon qu'à l'intérieur de celui-ci la plume et la bille de plomb tombent vers le bas : on a constaté alors que dans ces conditions, la bille et la plume TOMBENT AVEC LA MEME ACCELERATION ET ATTEignent EN MEME TEMPS LE FOND DU TUBE.

Si dans l'air la plume descend très lentement, alors que la bille de plomb tombe rapidement, ceci est dû exclusivement à la résistance de l'air et non à la différence de poids.

Un corps plus lourd est attiré par la terre avec une force plus grande, mais en même temps il présente une inertie proportionnellement plus élevée ; donc si la résistance de l'air n'entre pas en jeu, il ne tombe pas plus rapidement qu'un corps moins lourd. Comme le démontre l'expérience du tube vide d'air, l'accélération est toujours égale à 9,81 mètres par seconde par seconde (9,81 m/s²).

Pour conclure sur ce sujet, il nous faut préciser que la force de la pesanteur n'est pas égale sur tous les points de la terre et que par conséquent, le poids des corps peut varier d'un endroit à un autre.

Généralement la force de la pesanteur, déterminant le poids des corps diminue lorsque l'altitude augmente, comme le démontre l'expérience de la figure 7.

Si on utilise une même sphère pour fléchir la même barre élastique, d'abord en un lieu situé au niveau de la mer et ensuite en montagne, on constate que la flexion obtenue en montagne est inférieure à celle obtenue au niveau de la mer et qu'elle diminue de 5 cm jusqu'à environ 4,8 cm, dans le cas de l'expérience décrite.

Cette expérience démontre que le poids d'un corps diminue avec l'altitude.

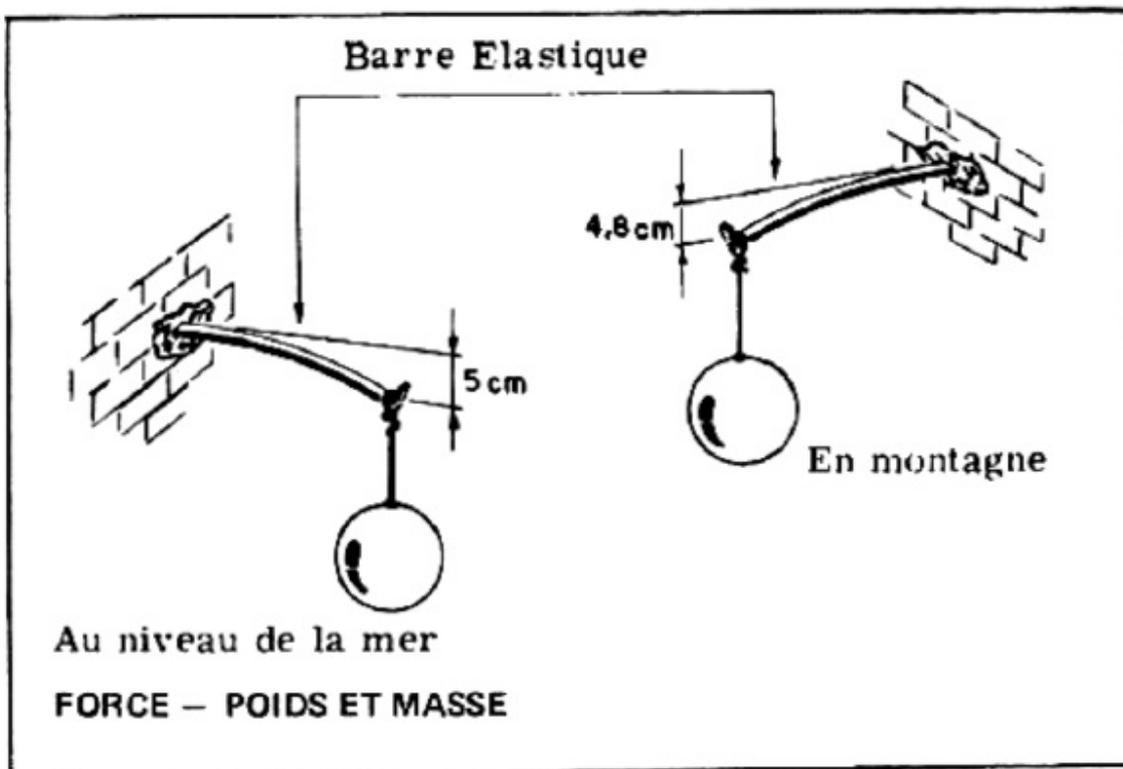


Figure 7

On peut constater la même chose si l'on utilise pour la pesée, un instrument à ressort par exemple le dynamomètre de la figure 5. Par contre, si l'on utilise une balance, on ne relève aucune différence, la force de la pesanteur augmentant et diminuant dans la même mesure pour le corps que l'on désire peser et pour les poids que l'on a mis sur l'autre plateau de la balance.

Ce qui reste constant, tant au niveau de la mer qu'en montagne, c'est la quantité de matière d'un corps : cette quantité de matière s'appelle la **MASSE**.

La masse, à la différence du poids, n'est pas une force. On la mesure en **KILOGRAMMES**.

Le KILOGRAMME (kg) EST LA MASSE DU POIDS DE 1 kg.

C'est par erreur qu'on désigne en kilogrammes les poids des corps : en réalité les kilogrammes ne mesurent que leur masse, c'est-à-dire leur quantité de matière, indépendante de la force de la pesanteur.

1 - 4 - MISSILES - SATELLITES - SONDES SPATIALES

La plupart des problèmes concernant le mouvement des corps se sont présentés lors de l'apparition des armes à feu, vers la fin du moyen-âge (XV^{ème} siècle). Ils se sont multipliés après l'an 1500, lorsqu'est apparue la possibilité de calculer le mouvement des planètes autour du soleil.

Un regain d'actualité a été donné à ces problèmes avec l'apparition des missiles et des satellites artificiels. Les premiers missiles n'avaient pas d'autre but, que de transporter des charges explosives à de très grandes distances sur la Terre.

Il s'est rapidement développé des applications pacifiques, dont les satellites artificiels pour l'étude directe de l'espace entourant la Terre, les

satellites artificiels pour les communications intercontinentales, les sondes spatiales pour l'étude de la Lune, de Vénus, de Mars et des autres planètes, et enfin les navires spatiaux qui transportent les cosmonautes accomplissant les explorations les plus audacieuses qui n'aient jamais été réalisées.

Du fait du caractère extrêmement actuel de tous ces sujets, nous allons terminer notre bref examen du mouvement des corps, par quelques indications sur les trajectoires des missiles et sur les orbites des satellites artificiels.

La figure 8 montre une représentation sommaire de la trajectoire d'un missile intercontinental.

Cette trajectoire n'est pas très différente de celle d'un projectile de canon, déjà calculée par Galilée il y a environ trois siècles. L'élément nouveau est constitué par l'énorme poussée initiale de la fusée nettement supérieure à celle donnée au projectile d'un canon, même moderne.

Par conséquent la portée est également plus longue et passe de quelques dizaines de kilomètres (pour les canons modernes) à plusieurs milliers de kilomètres (pour les missiles intercontinentaux).

Initialement le missile à très longue portée s'élève à partir de la tour de lancement, presque verticalement, sous l'effet de la poussée énorme des moteurs de la fusée et chemin faisant, il acquiert une vitesse de quelques kilomètres par seconde.

Lorsque la poussée des moteurs s'arrête, le missile continuerait à se mouvoir par inertie dans la direction S (figure 8), si la force de gravité P, exercée par la Terre, ne modifiait pas continuellement la direction de son déplacement, en orientant la trajectoire vers le sol.

La longueur de la portée dépend de la poussée initiale des moteurs : plus cette poussée est forte, plus longue sera la trajectoire.

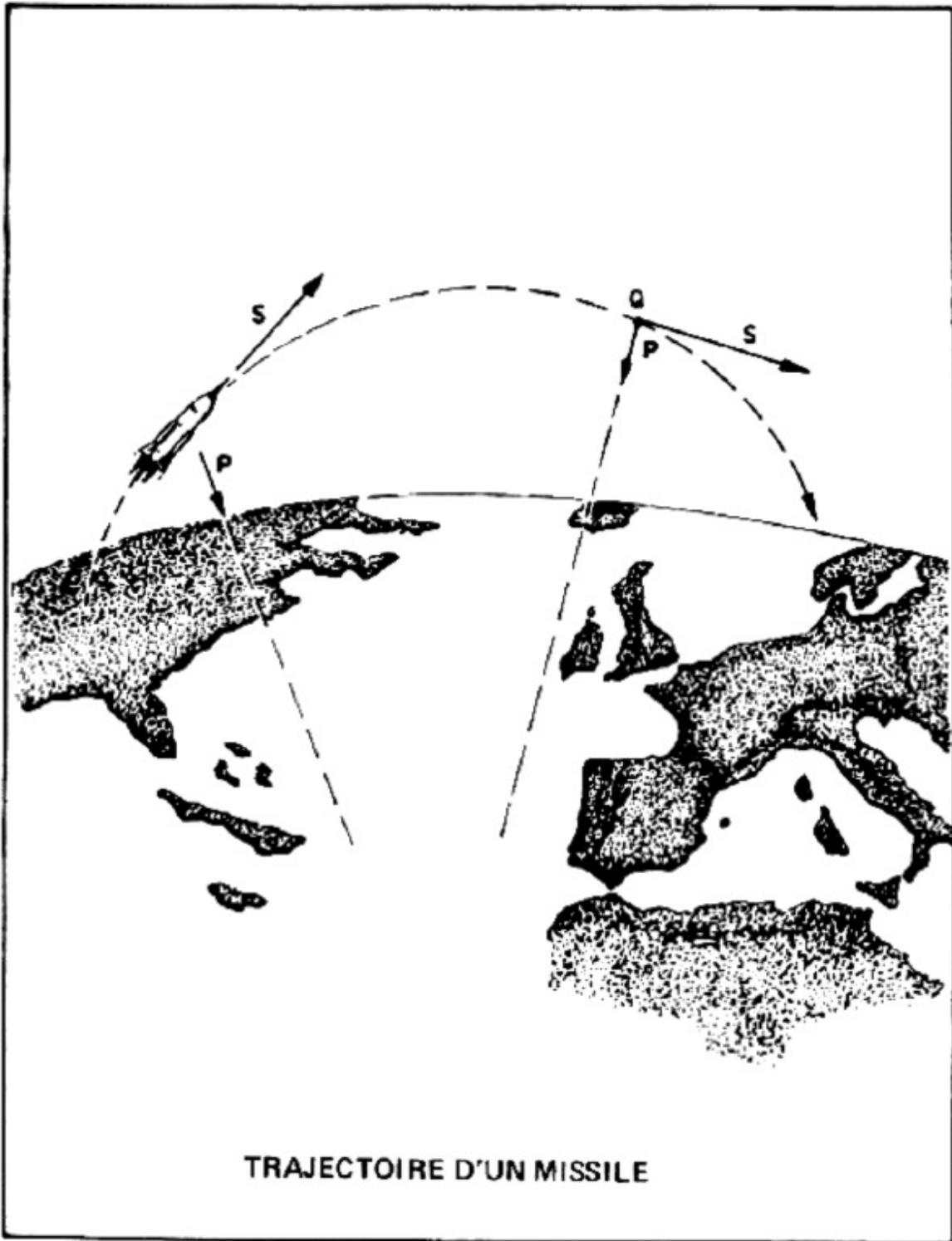


Figure 8

En observant les trajectoires T' et T'' tracées sur la figure 9, on voit comme elles tendent à se modifier lorsque la poussée devient plus forte, donc quand augmente la vitesse donnée au missile.

Si la vitesse du missile au moment où il s'incline horizontalement avant de dévier définitivement vers le sol est égale à 7,912 km/s, le missile ne retombe pas à terre, mais se place sur une orbite circulaire, où il continue à se mouvoir à une vitesse égale à environ 28.500km/h due à l'inertie acquise pendant le fonctionnement des moteurs. **IL DEVIENT UN SATELLITE.**

Si l'orbite du satellite se trouvait dans le vide absolu, c'est-à-dire s'il n'y avait pas la moindre trace de matière sur son parcours, le mouvement du satellite durerait indéfiniment parce que, comme on l'a dit au commencement, un corps en mouvement tend, par une loi naturelle, à conserver sa propre vitesse inchangée.

En réalité, même aux grandes altitudes, il existe toujours quelque trace de matière mettant un obstacle au mouvement d'inertie et ceci, à la longue, fait retomber le satellite vers la Terre. Il se produit, dans une mesure réduite, ce que nous observons au sol où tous les mouvements finissent par s'arrêter à cause de la résistance opposée par l'air.

Les orbites des satellites artificiels ne sont presque jamais parfaitement circulaires ; elles se présentent sous forme plus ou moins allongée à cause de la poussée initiale qui doit être au moins un peu supérieure au strict nécessaire, afin d'éviter la retombée à terre du satellite, à la suite d'erreurs de calcul.

Si la vitesse de la fusée porteuse **DEPASSE 11,2 km/s**, le missile devient capable d'échapper complètement à l'influence de la pesanteur : **IL QUITTE DEFINITIVEMENT LA TERRE ET DEVIENT UN SATELLITE DU SOLEIL.**

En général, la vitesse de 11,2 km/s (dite **VITESSE DE LIBERATION**)

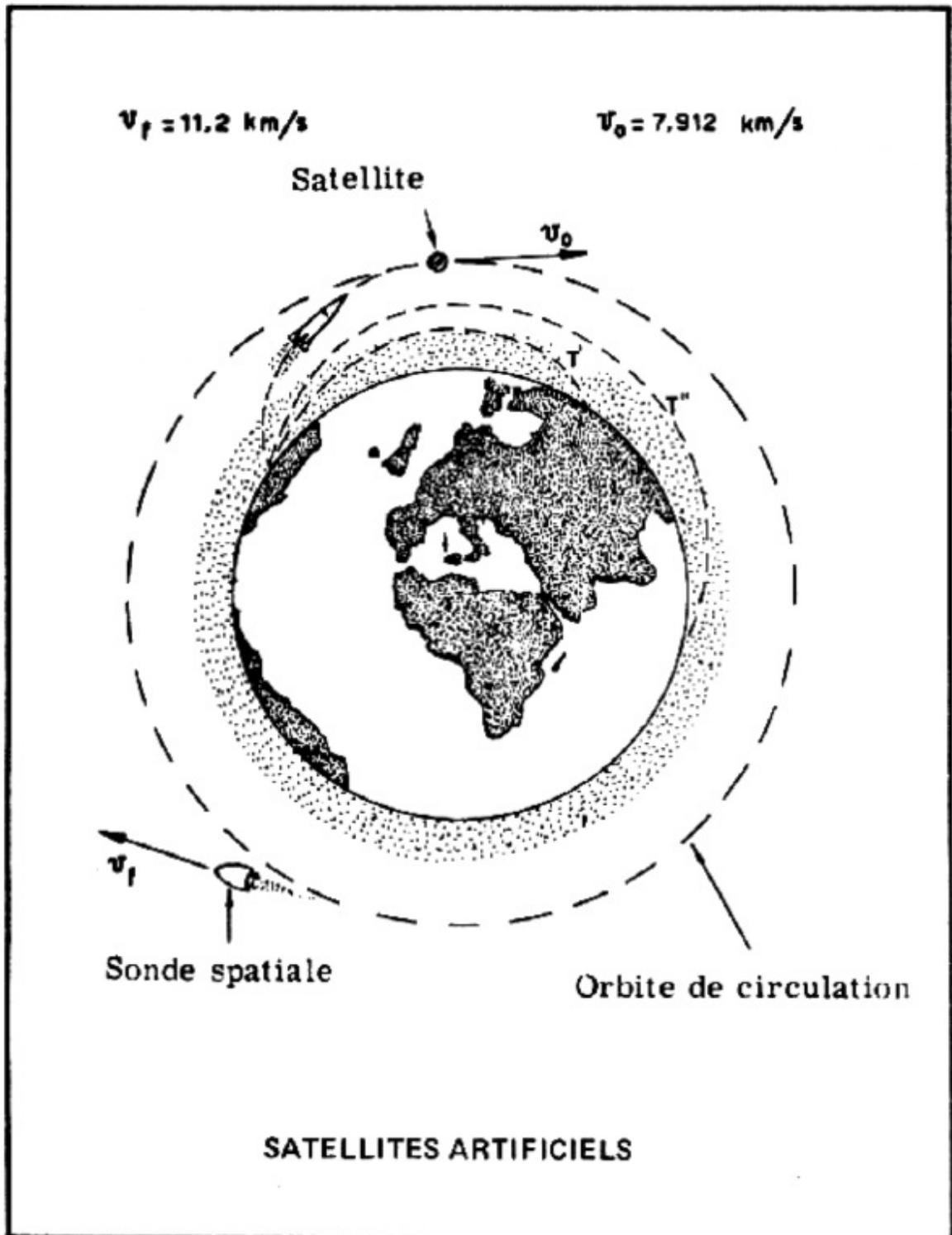


Figure 9

n'est pas donnée à la sonde spatiale dès le départ : on commence par la placer comme un satellite sur une orbite autour de la Terre (dite **ORBITE D'ATTENTE**), à partir de laquelle, il est plus facile de lui donner au moment voulu, l'accélération supplémentaire nécessaire pour atteindre la vitesse de libération.

Le mouvement des satellites terrestres et solaires obéit à des lois analogues à celles qui règlent tout mouvement circulaire et peut donc être expliqué par le jeu de forces montré par l'expérience de la figure 5.

Il existe aussi dans ce cas une force centrifuge, qui, par inertie aurait tendance à éloigner les satellites de la Terre ou du Soleil et il existe une force centripète qui, en s'opposant à la première, maintient les satellites en équilibre dynamique.

Dans le cas des satellites artificiels de la Terre, la force centripète est la force de la pesanteur. Dans le cas des satellites solaires, elle est l'attraction solaire. Ces forces d'attraction sont réelles et accomplissent les mêmes fonctions que celles exercées par le ressort du dynamomètre de l'expérience de la figure 5.

2 – SOLIDES – LIQUIDES – GAZ

Jusqu'à présent, pendant notre examen du comportement des corps en mouvement, nous n'avons pas pris en considération le fait que la matière peut se présenter sous trois états différents : **SOLIDE, LIQUIDE, GAZEUX**.

Dans tous les exemples cités il s'agissait de corps solides, sauf dans les exemples concernant les vases communicants et le seau rempli d'eau, dans lesquels toutefois il est très facile de comprendre le comportement des liquides. Cependant, nous n'avons parlé qu'occasionnellement de l'air qui est un gaz.

Les trois états sont certainement connus de tous, indiquons cependant ici un critère très simple permettant de les distinguer avec une certaine rigueur.

Le critère consiste à observer la **FORME** et le **VOLUME** des corps dans leurs divers états.

En observant **UN SOLIDE** on note qu'il a **TOUJOURS UN VOLUME ET UNE FORME BIEN DEFINIS** : un dé a toujours les mêmes dimensions et conserve sa forme cubique, quelle que soit sa position et quel que soit le récipient dans lequel il est placé (figure 10-a).

LE LIQUIDE A TOUJOURS UN VOLUME BIEN DEFINI, mais **IL N'A PAS UNE FORME STABLE** (figure 10-b) : en effet, si une certaine quantité d'eau remplit un récipient cylindrique d'un litre, on pourra toujours le transvaser entièrement, dans un autre récipient cubique d'un litre et le remplir.

Le volume de l'eau dans les deux cas est toujours égal à un décimètre cube, mais la forme change : de cylindrique, elle est devenue cubique.

Si on le désire, on peut donner aux liquides la forme idéale sphérique qui est toutefois très instable.

Il suffit de penser au mercure : lorsqu'une certaine quantité de mercure se répand sur une table, il se forme de nombreuses gouttes visiblement sphériques. Mais si le même mercure est recueilli dans un récipient, les gouttes s'assemblent pour former une masse liquide qui prend la forme du récipient.

LES GAZ N'ONT NI FORME NI VOLUME BIEN DEFINIS. Il est évident que le gaz n'a pas de forme, il suffit de penser qu'il occupe entièrement tout récipient qui le contient (figure 10-c).

La même considération est valable pour le volume, puisqu'en

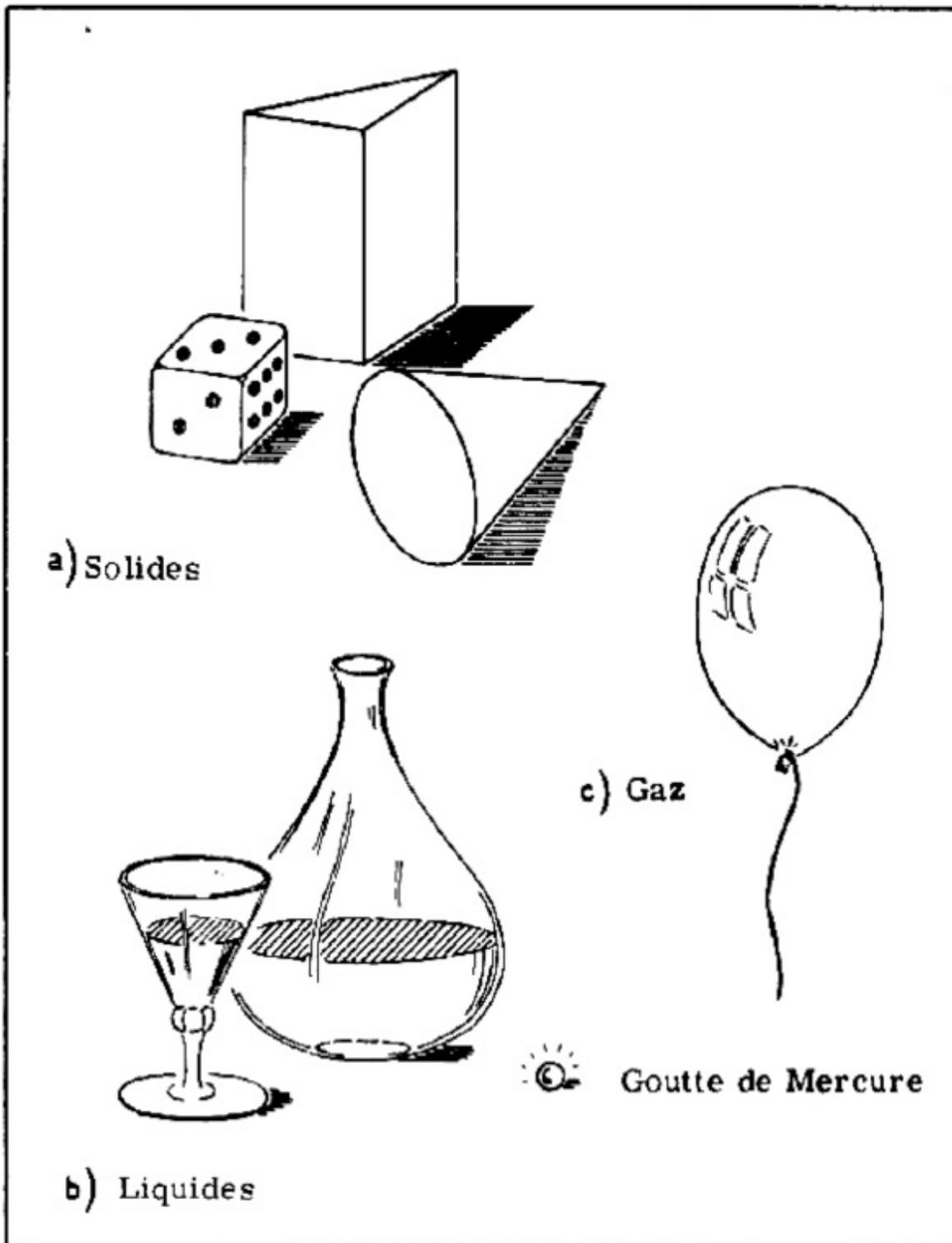


Figure 10

augmentant les dimensions du récipient, le volume du gaz augmente proportionnellement.

Prenons l'eau par exemple. Lorsqu'il fait très froid elle se présente à l'ETAT SOLIDE : la glace.

En réchauffant un morceau de glace, on obtient de l'eau à l'état liquide, puis en continuant de chauffer cette eau, elle se met à bouillir et passe à l'état gazeux.

La plupart des corps peuvent exister suivant les circonstances, sous n'importe lequel des trois états : solide, liquide ou gazeux.

Le passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide est appelé FUSION ;

Le passage de l'état liquide à l'état gazeux est appelé EVAPORATION ;

Inversement, le passage de l'état gazeux à l'état liquide s'appelle LIQUEFACTION ;

Enfin le passage de l'état liquide à l'état solide s'appelle SOLIDIFICATION.

Nous examinerons plus tard le rôle des différentes conditions physiques (en particulier la température) dans ces changements d'état.

