

Errants et errances

(II)

Notes pour tenter de comprendre l'histoire
de la découverte de l'attraction universelle

Résumons. Pour Kepler, il y a donc une "espèce motrice" qui entraîne les planètes dans leur mouvement autour du Soleil et parvient à vaincre leur inertie ; car, pour lui, l'inertie est une résistance au mouvement.

Vers les années 1630, Newton n'est pas encore né, mais la mécanique, la grande synthèse newtonienne est en gestation. Le sujet dont les grands esprits débattent est celui du mouvement des graves, les corps pesants qui nous entourent. Un fait, leur chute. Un autre fait, les jets. Une pierre tombe si je la lâche, je peux aussi la lancer. De là "procède le mouvement d'idées qui aboutit à la découverte de la loi d'inertie. Mais, chose curieuse, il n'en procède pas directement. Ni principalement. La physique nouvelle ne naît pas seulement sur la terre, elle naît autant dans les cieux. Et c'est dans les cieux aussi qu'elle trouve son achèvement." (Alexandre Koyré, "Etudes galiléennes", p.165)

Les grands esprits discutent de la chute des corps mais ils pensent aussi au mouvement des planètes. Certains ne citent pas Copernic et Kepler parce que ceux-ci ont encore un parfum d'hérésie et qu'on n'est jamais trop prudent vis à vis de l'Inquisition mais l'héliocentrisme est un fait acquis pour tous. Galilée, avec sa fougue et son talent de polémiste, bouscule la tradition : il le paiera d'années de résidence forcée. Descartes, de façon plus souterraine, mine la même orthodoxie et formule clairement les acquis. Le jeune génie de Newton tirera profit de tous ces travaux, y compris ceux de savants peut-être plus obscurs, Cavalieri, Torricelli, Bombelli, Gassendi qui font cohorte aux prophètes de la mécanique nouvelle.

La loi d'inertie, étape Galilée

=====
Etape essentielle, dégager la loi d'inertie, passer de la notion keplerienne d'inertie comme résistance au mouvement à l'inertie comme principe de poursuite du mouvement en l'absence d'action.

Cela ne pouvait pas être facile. L'expérience des mouvements terrestres ignore le mouvement uniforme sur une droite ; tout au plus peut-on réaliser un mouvement uniforme (ou presque) sur un segment de droite. Ce que nous voyons, ce que nous observons chaque jour, c'est le mouvement diurne, mouvement de rotation uniforme, le fameux mouvement "naturel" des Aristotéliciens.

Justement, ce qui préoccupe Galilée, à Pise, c'est le problème de la persistance du mouvement et ce qui le frappe, c'est la situation privilégiée du mouvement circulaire. Et il va falloir "expliquer ce qui est à partir de ce qui n'est pas, de ce qui n'est jamais. Et même à partir de ce qui ne peut jamais être." (pour reprendre une forte expression de Koyré ; réfléchissez, le mouvement rectiligne et uniforme ne pourra jamais être).

Relisons Galilée qui parle par la bouche de Salviati dans le "Dialogue des grands systèmes" (éd Hermann, p.117) :

"Si les corps constituants du monde doivent être, par nature, mobiles, il est impossible que leurs mouvements soient droits ou autres que circulaires ; la raison en est simple et évidente ; tout corps qui se meut d'un mouvement rectiligne change de lieu ; s'il continue à se mouvoir, il va de plus en plus s'éloignant de son point de départ et de tous les lieux par lesquels il passe successivement ; et si ce mouvement est chez lui naturel, c'est que, dès le principe, il n'était pas en son lieu naturel, et donc que les parties du monde n'étaient pas disposées en un ordre parfait. Mais nous avons supposé qu'elles le sont : comme telles, il est impossible qu'il soit de leur nature de changer de lieu, et en conséquence de se mouvoir d'un mouvement droit. En outre, le mouvement droit étant par nature infini parce que la ligne droite est infinie et indéterminée, il est impossible qu'aucun mobile ait, naturellement, en lui un principe de mouvement rectiligne, c'est à dire un mouvement vers un but auquel il est impossible d'arriver, le lieu n'étant pas préfixé, car la nature, comme le dit très bien Aristote lui-même, n'entreprend pas de faire ce qui ne peut être fait, ni de mouvoir un corps vers où il est impossible qu'il parvienne."

Cependant, dans la suite du dialogue (très platonicien de ton) entre Salviati et Simplicio, le mouvement d'une bille sur un plan lisse est discuté. C'est de l'expérience imaginée. Si la bille est lâchée vers la déclivité, elle aura un mouvement accéléré, si la bille est lancée vers le haut du plan incliné, son mouvement sera d'abord décéléré. Par conséquent, si le plan est horizontal, le mouvement persistera de façon rectiligne et uniforme au moins pour un temps. C'est presque une formulation du principe d'inertie.

Mais, selon Galilée, qu'est-ce qu'un plan horizontal pour un corps pesant. Est-ce le plan de la géométrie euclidienne, illimité, infini, sur lequel se dessinent des droites infinies ? Cette bille sur le plan horizontal est un corps grave : "Se mouvant sur ce plan, il s'éloignerait du centre de la terre (ou du monde) et, par conséquent s'élèverait. Son mouvement serait donc violent [non naturel] et, en fait, comparable à celui d'un corps qui remonte sur un plan incliné, c'est à dire sur un plan ascendant : donc, non seulement il ne pourrait se prolonger indéfiniment, mais au contraire, il devrait nécessairement s'arrêter. Le seul mouvement réel qui ne serait ni naturel ni violent, le seul mouvement qui ne ferait ni s'élever ni s'abaisser un grave, le seul mouvement qui ne le ferait pas s'éloigner ou se rapprocher du centre de la terre (ou du monde), est celui qui en suivrait le pourtour. Ce serait par conséquent un mouvement circulaire. Autrement dit : le plan horizontal réel est une surface sphérique." (paraphrase de Galilée par A. Koyré dans ses "Etudes galiléennes", p.208)

Conclusion : nous n'avons pas encore l'énoncé complet et clair du principe d'inertie.

En passant, notons que le discours de Galilée utilise l'expérience imaginée qu'il apparaît ainsi moins expérimentateur (qu'il fut pourtant) que dialogueur. Le lecteur y trouve son compte, c'est un plaisir de participer à la polémique avec un Salviati aussi vigoureux et éloquent. Quant au refus du plan géométrique de la part de Galilée, cela signifie aussi son refus

d'un univers infini ; pour lui, enfin, la distinction entre le modèle abstrait et le monde physique n'est pas clairement affirmée, son modèle abstrait n'est pas encore assez abstrait.

La loi d'inertie et les galiléens

===== Le progrès est pourtant là car, pour les disciples de Galilée, la polémique est dépassée. En 1632, l'année même où Galilée publie son "Dialogue des grands systèmes", Bonaventura Cavalieri publie un ouvrage "Speccio Ustorio" qui est **tout à fait un livre de science**. La distinction aristotélicienne entre mouvements naturels et mouvements violents disparaît. On peut s'abstraire de la pesanteur et imaginer un projectile qui n'y serait pas soumis : "Je dis encore que ce projectile non seulement irait en ligne droite vers son but, mais que, en temps égaux, il ne passerait que des espaces égaux de la dite ligne, pourvu que le mobile soit indifférent à la direction du mouvement et pourvu encore que le milieu ne lui fasse aucune résistance, puisqu'il n'aurait aucune cause de ralentissement ni d'accélération." (cité par Koyré, "Etudes galiléennes", p.295)

Alors que Galilée, pour exclure l'action de la gravité, avait recours à un plan horizontal en forme de sphère, Cavalieri fait purement et simplement abstraction de ce plan.

De même pour Evangelista Torricelli qui, dans une étude sur le mouvement publiée à Florence en 1644, écrit : "Il est clair que sans la traction de la gravité, le mobile procéderait d'un mouvement rectiligne et uniforme suivant la ligne de direction donnée."

Gassendi, l'un des plus éminents disciples français de Galilée, a eu le mérite d'effectuer réellement l'expérience du boulet lâché du haut du mât d'un navire en mouvement. Plus expérimentateur et point du tout mathématicien (alors qu'il fut titulaire d'une chaire de mathématiques au Collège Royal), il s'interroge sur la gravité. Pour Galilée, ce n'était qu'un nom pour désigner quelque chose dont on ignorait la nature. Pour Gassendi, c'est une force comme une autre, une attraction du même genre que l'attraction magnétique. Ce n'est pas une explication, une simple évolution du vocabulaire, mais elle va dans le sens de la future synthèse newtonienne.

La loi d'inertie et Descartes

===== Revenons en arrière. En 1630, Descartes travaille à un grand traité "Le monde ou traité de la lumière" qui ne sera publié qu'après sa mort en 1662 ; sans doute les persécutions dont Galilée fut victime incitèrent-elles Descartes à la prudence. Il usait pourtant, dans ce traité, d'un stratagème : le monde qu'il décrit est un nouveau monde (pour Descartes, la physique ancienne est morte depuis Copernic), un nouveau monde créé par Dieu qui ne pouvait pas le créer autrement, un nouveau monde qui n'est pas le nôtre. Galilée voulait découvrir le mode d'action effectivement suivi par la nature ; Descartes raisonne pour construire un monde qui doit suivre certaines lois. Et quand il aboutit à des résultats qui ne s'accordent pas

avec l'expérience quotidienne, tant pis pour le sens commun :

"Encore que tout ce que nos sens ont jamais expérimenté dans le vrai Monde semblât manifestement être contraire à ce qui est obtenu dans ces deux règles [sur lesquelles nous allons revenir tout de suite après], la raison qui me les a enseignées, me semble si forte, que je ne laisserais pas de croire être obligé de les supposer dans le nouveau que je vous décris. Car quel fondement plus ferme et plus solide pourrait-on trouver, pour établir une vérité, encore qu'on la voulût choisir à souhait, que de prendre la fermeté même et l'immutabilité qui est en Dieu." ("Le Monde", p.43)

On ne saurait plus superbement affirmer le primat de la théorie sur l'expérience, le souci de la cohérence du modèle sur les incertitudes de l'expérience.

Voici maintenant ces deux règles. La première affirme que chaque particule de matière persévère dans le même état aussi longtemps que la rencontre d'autres particules de matière ne l'oblige pas à changer -on voit poindre ici l'idée d'un univers plein qui ignore le vide). La deuxième règle : "quand un corps en pousse un autre, il ne saurait lui donner aucun mouvement, qu'il n'en perde en même temps autant du sien (invariance de la quantité de mouvement, dirions-nous aujourd'hui).

"J'ajouterai, continue Descartes, que lorsqu'un corps se meut, encore que son mouvement se fasse le plus souvent en ligne courbe... toutefois chacune de ses parties en particulier tend toujours à continuer le sien mouvement en ligne droite.

Et ainsi leur action, c'est à dire l'inclination qu'elles ont à se mouvoir, est différente de leur mouvement actuel.

Par exemple, si l'on fait tourner une roue sur son essieu, encore que toutes ses parties aillent en rond, parce qu'étant jointes l'une à l'autre elles ne sauraient aller autrement : toutefois leur inclination est d'aller droit...

De même, quand on fait tourner une pierre dans une fronde, non seulement elle va tout droit aussitôt qu'elle en est sortie ; mais de plus, pendant tout le temps qu'elle y est, elle presse le milieu de la fronde et fait tendre la corde : montrant évidemment par là, qu'elle a toujours inclination d'aller en ligne droite, et qu'elle ne va en rond que par contrainte.

Cette règle -du mouvement en ligne droite - est appuyée sur le même fondement que les deux autres, et ne dépend que de ce que Dieu conserve chaque chose par une action continue, et par conséquent, qu'il ne la conserve point telle qu'elle peut avoir été quelque temps auparavant, mais précisément telle qu'elle est au même instant qu'il la conserve. Or est-il que, de tous les mouvements, il n'y a que le droit, qui soit entièrement simple, et dont toute la nature soit comprise en un instant. Car, pour le concevoir, il suffit de penser qu'un corps est en action pour se mouvoir vers un certain côté, ce qui se trouve en chacun des instants qui peuvent être déterminés pendant le temps qu'il se meut. Au lieu que, pour concevoir le mouvement circulaire, ou quelque autre que ce puisse être, il faut du moins considérer deux de ses instants, ou plutôt deux de ses parties, et le rapport qui est entre elles." ("Le Monde, p.45)

Pour Descartes, le principe d'inertie est donc acquis en 1630, date de la rédaction du traité sur "le Monde". Il reprend d'ailleurs la question dans ses "Principes de philosophie" qui, eux, seront publiés de son vivant, en 1644. En même temps, il précise sa formulation. Dans la seconde partie de ces "Principes" qui traite "Des principes des choses matérielles", on lit :

"§37. La première loi de la nature : que chaque chose demeure en l'état qu'elle est, pendant que rien ne le change."

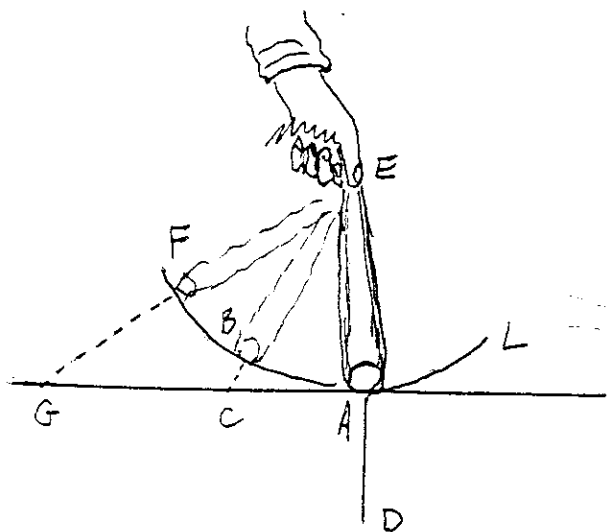
"§38. Pourquoi les corps poussés de la main continuent de se mouvoir après qu'elle les a quittés."

Et enfin ce paragraphe 39 essentiel que nous relisons en entier, commentaire de Descartes compris :

"§39. La seconde loi de la nature : que tout corps qui se meut tend à continuer son mouvement en ligne droite.

La seconde loi que je remarque en la nature est que chaque partie de la matière, en son particulier, ne tend jamais à continuer de se mouvoir suivant des lignes courbes, mais suivant des lignes droites, bien que plusieurs de ces parties soient souvent contraintes de se détourner, parce qu'elles en rencontrent d'autres en leur chemin, et que, lorsqu'un corps se meut, il se fait toujours un cercle ou anneau de toute la matière qui est mue ensemble. Cette règle, comme la précédente, dépend de ce que Dieu est immuable, et qu'il conserve le mouvement en la matière par une opération très simple ; car il ne le conserve pas comme il a pu être quelque temps auparavant, mais comme il est précisément

au même instant qu'il le conserve. Et bien qu'il soit vrai que le mouvement ne se fait pas en un instant, néanmoins il est évident que tout corps qui se meut, est déterminé à se mouvoir suivant une ligne droite, et non pas suivant une circulaire : car, lorsque la pierre A tourne dans la fronde EA suivant le cercle ABF, en l'instant qu'elle est au point A, elle est déterminée à se mouvoir vers quelque côté, à savoir vers C, suivant la ligne droite AC, si on suppose que c'est celle-là qui touche le cercle. Mais on ne saurait feindre qu'elle soit déterminée à se mouvoir circulairement, parce que, encore qu'elle soit venue d'L vers A suivant une ligne courbe, nous ne concevons point qu'il n'y ait aucune partie de



cette courbure en cette pierre, lorsqu'elle est au point A ; et nous en sommes assurés par l'expérience, parce que cette pierre avance tout droit vers C, lorsqu'elle sort de la fronde, et ne tend en aucune façon à se mouvoir vers B. Ce qui nous fait voir manifestement, que tout le corps qui est mû en rond, tend sans cesse à s'éloigner du cercle qu'il décrit. Et nous le pouvons même sentir de la main, pendant que nous tournons cette pierre dans cette fronde ; car elle tire et fait tendre la corde pour s'éloigner directement de notre main. Cette considération est de

telle importance, et servira en tant d'endroits ci-après, que nous devons la remarquer soigneusement ici ; et je l'expliquerai encore plus au long, lorsqu'il en sera temps."

Après quoi Descartes énonce encore :

"§40. La troisième (loi de la nature) : que, si un corps qui se meut en rencontre un autre plus fort que soi, il ne perd rien de son mouvement, et s'il en rencontre un plus faible qu'il puisse mouvoir, il en perd autant qu'il lui en donne."

On constate bien que de 1630 à 1644, Descartes a épuré sa rédaction tout en changeant l'ordre des règles. Ce qui nous importe pour la suite de cette histoire, ce n'est pas cette fausse interprétation des rencontres (des chocs), c'est la claire et définitive formulation du principe d'inertie.

En attendant Newton

===== Encore un coup d'oeil en arrière avant de poursuivre notre étude. Le chemin que va suivre Newton a été défriché. On ne peut pas ne pas s'émerveiller de cette conjonction d'efforts chez tant de grands esprits. Cavalieri n'a pas seulement réfléchi à la loi d'inertie ; il a surtout développé sa "théorie des indivisibles", prouvant qu'il avait bien lu et compris Archimède, comme son maître Galilée : ces indivisibles, étape essentielle vers l'analyse infinitésimale. En même temps, Descartes et Fermat précisent la notion de fonction.

Il y a une telle richesse d'idées et de découvertes dans ce dix-septième siècle qu'on est tenté de penser qu'une grande synthèse était fatale. Après coup, il est facile de parler de fatalité, notion dont l'Histoire nous apprend qu'il faut se méfier.

Je me permets seulement la réflexion suivante : si Newton n'avait pas été étudiant à Cambridge, si l'épidémie de peste ne l'avait pas contraint à se réfugier à la campagne, si..., si la synthèse newtonienne ne s'était pas réalisée en 1685, l'Angleterre aurait-elle, la première, connu la révolution industrielle, aurait-elle pu résister à Napoléon en 1815, à Hitler en 1940 ? Qu'un jeune homme intelligent et rêveur ait rapproché le mouvement des planètes et la chute des corps, était-ce un passe temps de dilettante ?

K.Mizar

(à suivre)

=====