

Deux idées de la science
Galilée et les lois du mouvement
Descartes et les modèles mécaniques

On va exploiter un poncif de l'histoire de la « Révolution scientifique » : l'opposition de Descartes et Galilée.

Galilée

- i) en guise d'introduction : la défense du copernicianisme
- ii) la relativité du mouvement et la conservation du mouvement
- iii) le principe de conservation du mouvement
- iv) Discours, l'analyse mathématique du mouvement

Le contexte : la défense du copernicianisme

Dans les années 1610, les observations de certains phénomènes célestes convainquent Galilée de la vérité du système héliocentrique. Il se lance alors dans un combat pour la défense de ce système, qui aboutit à la publication, en 1633, à la publication du *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*. Ce que sont ces deux grands systèmes du monde. les personnages.

Objections contre le mouvement de la terre de deux ordres. Celles qui concernent les apparences célestes, qu'on laissera ici de côté ; celles qui sont tirées de l'expérience des mouvements terrestres. Les *Dialogues* en distinguent quatre : lâcher une pierre du haut d'une tour ou une pierre du haut d'un mat ; tirer à l'est et à l'ouest (cela vient de Tycho) ; les oiseaux qui volent ; tout devrait se disperser.

Ce qu'il faut tout de suite comprendre, c'est qu'il ne s'agit pas seulement de relativité visuelle. Ce que c'est la relativité visuelle : si A et B bougent l'un par rapport à l'autre, A peut voir B bouger ou B voir A bouger, ce n'est pas visuellement qu'on peut faire la différence (trains). Le problème est ici celui de la relativité mécanique, ie. des effets réels qu'aurait le mouvement de la terre sur le mouvement des corps.

Ensuite, parmi ces quatre objections, deux groupes : 1° Les trois premières, auxquelles on peut répondre, et auxquelles Galilée répond effectivement, par l'élaboration d'un nouveau concept de mouvement (pour faire bref, on dire : du mouvement comme relation et comme se conservant de lui-même) et de la notion de système inertial. 2° La quatrième, qui exige l'analyse

de la force centrifuge, à laquelle on ne peut répondre aussi facilement, et à laquelle Galilée ne répond pas bien dans les *Dialogues*.

Ce que quoi on va se concentrer donc : montrer que l'idée que le mouvement est un rapport et l'idée que le mouvement se conserve permettent de répondre aux trois premières objections. (L'une ou l'autre idée suffisent, G expose les deux dans les *Dialogues*).

Relativité et conservation du mouvement

EN p. 142, tr. p. 141. "Le mouvement est mouvement et agit comme mouvement pour autant qu'il est en rapport avec des choses qui en sont dépourvues".

Confrontation de cette définition à celle qu'avait proposée Aristote, du point de vue de la forme — du point de vue du contenu.

i) Forme de la définition

La forme ici : ce qui compte comme définition, ce qu'accomplit une définition, ce que révèle une définition à propos de la tâche de la physique.

Chez Aristote, la définition du mouvement vise une essence, un principe. Non seulement dire ce qu'est le mouvement, mais pourquoi il y a du mouvement, et pourquoi ce mouvement pour tel corps plutôt que ce mouvement pour tel autre. Le mouvement de tel corps a une cause, le corps cherche à réaliser sa nature, à atteindre un état plus parfait ontologiquement. La cause est ici un principe ontologiquement hétérogène au mouvement, qui donne sa raison d'être.

Chez Galilée, d'une part, le mouvement est saisi phénoménalement, comme ce qui distingue un corps qui a du mouvement et un corps qui n'en a pas, sans qu'on se demande pourquoi il y a du mouvement. D'autre part, ce n'est pas le mouvement comme expression de la nature d'un corps qui est visée, mais un mouvement qui n'est que l'expression d'une relation entre différents corps. Soit deux différences : de l'essence aux propriétés, du corps singulier à la relation entre les corps.

ii) Contenu de la définition.

Chez Aristote, le mouvement est un rapport du corps à sa propre nature, le mouvement l'affecte, lui permet de réaliser son essence, de gagner son lieu propre dans le cas du mouvement local. Le mouvement est un processus lié à la nature du corps, n'importe quel corps ne pouvant se mouvoir n'importe comment. Il a une fonction cosmologique, il est lié à l'ordre du monde, qu'il maintient ou qu'il restaure.

Chez Galilée, le mouvement ne se dit que de manière relative par rapport à des choses qui n'en ont pas, c'est la modification d'une relation entre des corps qui ne touchent pas ce que sont ces corps en eux-mêmes. Le mouvement est un état indifférent au corps qui le possède — le mouvement n'étant qu'une relation, un rapport entre deux corps, on ne peut pas dire à proprement parler qu'un corps *possède* un mouvement.

Trois remarques sur la relativité du mouvement :

— Disparition du privilège ontologique du repos par rapport au mouvement. Si la relation entre deux corps ne se modifie pas, ces deux corps sont en repos l'un par rapport à l'autre, un mouvement partagé est un repos pour les corps qui le partagent. EN, p. 142, suite : “pour toutes les choses qui y participent également, il n'agit pas, il est comme s'il n'était pas”. Autrement dit, disparition de l'assymétrie entre repos et mouvement, disparition du privilège ontologique du repos par rapport au mouvement. Le repos n'est pas le terme, la fin du mouvement, mais quelque chose d'analogue au mouvement. Ce qui signifie entre autres choses que le mouvement est un état comme le repos, qu'il n'a aucune raison de ne pas se conserver.

— Possibilité de composer les mouvements. Selon les corps par rapport auxquels il y a mouvement, on peut avoir du repos et du mouvement en même temps, différentes espèces de mouvements qui se composent les uns avec les autres, etc. Relativement à une ville de la côte, les marchandises sur un navire bougent, mais pas relativement au bateau qui les transporte.

— La relativité du mouvement n'implique pas sa subjectivité. Le mouvement se repère à ses effets objectifs : il agit ou n'agit pas. Exemples qui sont pris plus loin.

EN, p. 198-199 : le peintre sur un bateau. Par rapport à la ville qu'il a quitté, il trace une longue ligne, du fait même qu'il se transporte avec le bateau. Mais il peut peindre comme si de rien n'était, ce qui prouve que le mouvement est “comme nul” pour le peintre, qu'il n'agit pas sur lui.

EN, p. 213-214 : le cirque dans la cale. Le mouvement du bateau n'a aucun effet sur ce qui s'y passe, donc il est comme nul. Cela vaut pour toutes les espèces de mouvement, les mouvements naturels et violents, dans l'air, dans l'eau ou sur la terre.

Dans les deux cas, si le mouvement du bateau sont « comme nuls » pour le peintre et pour ceux qui sont dans le bateau, c'est qu'il s'agit de mouvements uniformes — en termes modernes, G. découvre la notion de système inertiel, et c'est cela qui lui permet de répondre aux objections anti-coperniciennes. Une pierre que l'on ferait tomber du haut du mat d'un bateau constitue un bon modèle de ce qu'on fait quand on fait tomber une pierre du haut d'une tour. Or, comme on vient de le voir, la pierre doit tomber au pied du mat, que le navire soit ou non en mouvement,

puisqu'ils partagent le même mouvement, il est comme nul pour l'un et l'autre, donc il n'a aucun effet sur leur mouvement l'un par rapport à l'autre. Donc la pierre tombe au pied de la tour, que la terre soit ou non en mouvement. Autrement dit, pour nous, en tant que nous avons le même mouvement que la terre, nous ne pouvons pas savoir si elle se meut ou non. Comme nous appartenons au même système que la terre, comme nous partageons son mouvement, nous ne pouvons tirer d'aucune observation terrestre un argument pour dire qu'elle ne bouge pas (ou inversement qu'elle bouge). Nous sommes dans la situation d'un homme qui serait dans un bateau animé d'une vitesse rectiligne et constante.

Deuxième manière de répondre aux objections anti-coperniciennes. L'idée est qu'un corps conserve le mouvement qu'il a acquis. La pierre qui a reçu quand elle était en haut du mat le même mouvement que le navire conserve ce mouvement et y ajoute son mouvement de chute ; elle tombe donc au pied du mat.

Pourquoi le mouvement d'un corps ne se conserverait-il pas ? C'est que tout corps terrestre est grave, lourd, pesant et inerte dirions-nous familièrement. Pour un aristotélicien, la gravité d'un corps désigne à la fois sa quantité de matière et la force motrice qui fait que, spontanément, il tend vers le centre de la terre. Il est clair que la gravité comme quantité de matière ne peut être dissociée du corps, c'est elle qui fait que le corps est ce qu'il est. Mais il y a aussi la gravité comme force motrice, qui soit accélère le corps, soit le décélère. Salviati-Galilée fait intervenir le plan horizontal comme un dispositif dans lequel la gravité comme force motrice est neutralisée et, conséquemment, montre que, une fois cette gravité motrice neutralisée sur ce plan, le corps en mouvement n'a aucune raison de modifier sa vitesse.

Si un corps placé sur un plan incliné descend et accélère, fait-il remarquer à Simplicio, c'est que sa gravité comme force motrice agit continûment sur lui : à chaque instant, elle lui fait gagner naturellement un degré de vitesse. Si un corps lancé vers le haut le long d'un plan incliné décélère progressivement, c'est que sa gravité comme force motrice agit continûment sur lui, mais en sens inverse pourrait-on dire, à chaque instant elle enlève un degré de vitesse à son élan initial. Autrement dit, dans les deux cas, la gravité motrice agit, dans un cas pour produire, dans l'autre pour consommer des degrés de vitesse. Par continuité ou par symétrie, on en déduit que, sur un plan qui ne monte ni ne descend, la gravité comme force motrice sera neutralisée, qu'elle n'agira ni dans un sens ni dans un autre, donc que, quelque soit la gravité comme quantité de matière du corps, toute cause d'accélération ou de décélération aura disparu. Un corps sur un plan horizontal devra donc demeurer éternellement dans l'état qui est le sien, soit de repos, soit de mouvement uniforme. On a donc bien un principe de conservation du mouvement ou du

repos, un mouvement qui persévère, sans cause, sans moteur : on a un principe de conservation du mouvement.

Pourquoi Galilée ne formule pas le principe d'inertie.

Ce qu'on trouve dans les textes :

— *Dialogues* : le bateau qui se meut sur la mer. On pourrait se dire : Galilée estime que la circularité de ce mouvement est une approximation, le véritable principe énonçant la conservation du principe en ligne droite.

— *Discours* : analyse de la trajectoire parabolique : composition d'un mouvement rectiligne uniforme et un mouvement accéléré de chute. Là on semble avoir le principe d'inertie.

En fait, Galilée ne pouvait pas formuler notre principe d'inertie pour deux raisons :

i) Raison cosmologique. Galilée critique bien des aspects du cosmos aristotélicien, mais conserve l'idée fondamentale de cosmos : celle d'un monde bien ordonné, les choses ont sinon une place naturelle qu'elle chercherait à rejoindre, du moins un ordre les unes par rapport aux autres. Dans un tel cosmos, le repos et le mouvement circulaire sont, dit Galilée, les seuls aptes à la conservation de l'ordre. 56.

ii) Raison physique plus ponctuelle : manière dont Galilée conçoit la gravité. La gravité est une tendance interne à rejoindre le centre de la terre, elle est immanente aux corps, constitutive de leur nature : tout corps est grave en soi et tend donc vers la terre. On peut la neutraliser artificiellement en introduisant un plan, mais, en fait, cela est impossible.

Dès lors, on peut analyser les deux textes dans leur vérité historique.

— *Dialogues* : le bateau qui se meut sur la mer n'est pas une approximation, mais l'illustration exacte de ce qu'est le principe de la conservation du mouvement pour Galilée, une conservation circulaire. En effet, c'est seulement sur une surface qui ne s'éloigne ni ne se rapproche du centre des graves, c'est-à-dire sur une sphère, que la gravité est neutralisée. (Et il faut bien une surface car autrement le corps serait emporté vers le centre par sa gravité).

— *Discours* : analyse de la trajectoire parabolique. La réalité physique exigerait donc qu'on compose un mouvement circulaire avec un mouvement uniformément accéléré. Mais Galilée n'est pas capable d'analyser géométriquement cette composition. Par souci de simplification, il assimile donc le mouvement circulaire à un mouvement rectiligne. La persistance d'un mouvement sur un plan horizontal (et non sur un plan circulaire conforme à la surface terrestre) est dès lors une simplification géométrique qui n'a aucun fondement physique.

Pour analyser géométriquement le comportement des corps, Galilée est contraint de faire une supposition que la nature même des corps interdit, et qui ne saurait par conséquent prétendre au titre de principe physique.

L'analyse du mouvement dans les Discours

La condamnation de G l'assigne à résidence et lui interdit de publier en matière cosmologique ; ce qu'il fait alors : rassembler tout ce qu'il a acquis concernant ce qu'il appelle lui-même deux nouvelles sciences, la science de la résistance des matériaux et la science du mouvement. D'où les *Discours sur deux sciences nouvelles*, publiés en 1638, même présentation sous forme de dialogues, mais plus démonstratif que persuasif.

On se concentre ici sur certains résultats relatifs à la science du mouvement. En gros, GG commence par donner une définition du mouvement accéléré en fonction du temps : le mouvement accéléré est celui où les moments de vitesse croissent en fonction du temps, ou encore celui où, en des temps égaux, ont lieu des accroissements égaux de vitesse (nous dirions que l'accélération est proportionnelle au temps). En partant de cette définition, il montre en particulier que :

i) la distance parcourue par un corps qui tombe en chute libre est proportionnelle au carré des temps ($d = 1/2 gt^2$).

ii) lorsqu'on lance un corps, sa trajectoire résulte de la composition de deux mouvements : un mouvement inertiel (on lui a donné une certaine impulsion, il la conserve) et un mouvement de chute libre, comme on vient de le voir tel que la distance soit proportionnelle au carré des temps.

Il y a là géométrisation du mouvement en plusieurs sens :

* structure déductive analogue à celle qu'on trouve en géométrie, on part de définitions pour arriver à des théorèmes, ordonnés du plus simple au plus complexe.

* les propriétés du mouvement sont ramenées à deux grandeurs fondamentales, la distance parcourue et, surtout, le temps. Surtout le temps puisque, dans la définition du mouvement accéléré, le mouvement se fait en fonction du temps, en chaque partie élémentaire du temps, on a un accroissement élémentaire de vitesse :

Discours, EN p. 197, Clavelin, p. 131 : Je dis qu'un mouvement est également ou uniformément accéléré quand, partant du repos, il reçoit en des temps égaux des moments égaux de vitesse (« moment » désigne ici un petit accroissement).

Sans rentrer trop dans le détail, trois remarques sur cette définition et sur ce que Galilée va pouvoir en tirer :

i) C'est une définition génétique du mouvement accéléré, qui montre le processus selon lequel le mouvement accéléré s'engendre. Exemple de définition génétique : le cercle. Cette définition génétique du mouvement met en valeur « l'étroite affinité entre le temps et le mouvement », comme si le temps était la source des accroissements de vitesse qu'on constate dans le cas du mouvement uniformément accéléré.

ii) C'est une définition qui fait du mouvement comme un continu. Le temps est un continu, divisible à l'infini ; puisque le mouvement est une grandeur liée au temps, il va être lui aussi être continu. Cela, dit un des personnages des *Discours*, « déconcerte l'imagination, quand l'expérience sensible nous montre des corps tombant immédiatement avec une grande vitesse ». Un corps qui part du repos et atteint une vitesse donnée passe par tous les degrés intermédiaires de vitesse, autrement dit par une infinité de vitesses. Variantes sur des paradoxes classiques du continu : comment un corps peut-il passer par une infinité de vitesses en un temps fini.

iii) C'est une définition qui laisse de côté la question de la cause de l'accélération. Galilée entend établir une relation entre certains paramètres, la vitesse, le temps, l'espace, sans se prononcer sur les raisons pour lesquels il y a mouvement, ni sur les causes qui font que le mouvement s'accélère. Dans ce contexte, deux passages sont toujours cités et ont été interprétés comme manifestant le positivisme de Galilée, son refus d'analyser les causes et les principes.

Dialogue, EN p. 261, trad. p. 246. Simplicio, l'aristotélicien, affirme que tout le monde connaît la cause du mouvement des parties de la terre vers la terre :

« Simplicio. La cause de cet effet est bien connue, chacun sait que c'est la pesanteur.

Salviati. Vous vous trompez, Signor Simplicio. Ce que vous devez dire, c'est que chacun sait qu'on l'appelle pesanteur. Mais ce que je vous demande, ce n'est pas le nom, c'est l'essence de la chose : de cette essence, vous n'en savez pas plus que de l'essence de ce qui fait tourner les étoiles, si ce n'est le nom qu'on y a attaché et qui est devenu familier, banal, parce qu'on en a fait l'expérience fréquemment, mille fois par jour ; mais ce n'est pas cela qui nous fait mieux comprendre quel est le principe ou la vertu, qui meut la pierre vers le bas ».

De même que Pascal à propos de l'horreur du vide, Salviati-Galilée condamne, à propos de la pesanteur, les causes et les essences aristotéliciennes, la recherche de principes abstraits qui, finalement, ne sont que des mots ou des transpositions de l'expérience sensible. En l'occurrence, en disant que la gravité est la cause du mouvement des parties de la terre vers la terre, Simplicio

ne dit rien de plus que ce que tout le monde sait, à savoir précisément, qu'il y a un mouvement des parties de la terre vers la terre. Mais la gravité n'est qu'un nom, elle ne constitue ni une augmentation de savoir, ni un gain d'intelligibilité.

Discours, 3^{ème} journée, EN p. 202, tr., p. 135 : « Salviati. L'occasion ne me semble pas favorable pour rechercher la cause de l'accélération du mouvement naturel, problème sur lequel différents philosophes ont formulé différentes opinions, certains l'expliquant par le rapprochement vis-à-vis du centre, d'autres par la réduction progressive des parties du milieu restant à traverses, d'autres encore par une extrusion du milieu ambiant dont les parties, en venant se réunir dans le dos du mobile, le presseraient et le repousseraient continuellement ; il nous faudrait examiner toutes ces imaginations, avec bien d'autres, et sans grand profit. Pour l'instant, le but de notre auteur est seulement de nous faire comprendre qu'il a voulu découvrir et démontrer quelques propriétés d'un mouvement accéléré (quelle que soit la cause de son accélération), où les moments de la vitesse croissent le plus simplement possible en fonction même du temps (...). Au cas où les propriétés établies par la suite s'appliqueraient aux graves animés d'un mouvement de chute naturellement accéléré, nous pourrions admettre que la définition vaut aussi pour ce mouvement, et que l'accélération des graves croît proportionnellement au temps ».

L'idée se situe dans la continuité de celle exprimée dans le *Dialogue*. On peut analyser les propriétés (si on veut les effets) sans s'intéresser aux substances (si on veut les causes). G soutient qu'il est possible, alors même qu'on n'a pas identifié la cause, au sens aristotélicien, de la gravité, d'établir des rapports quantitatifs entre les différentes propriétés des corps graves. On sait que les corps qui tombent accélèrent, on sait qu'ils le font proportionnellement au temps — à chaque instant, un moment de vitesse s'ajoute. Peu importe si on ne connaît pas encore le mécanisme qui fait qu'il y a des nouveaux moments de vitesse, si on ne sait pas d'où viennent ces nouveaux moments de vitesse ni comment ils peuvent pour ainsi dire physiquement s'ajouter les uns aux autres.

D'où l'idée que G aurait ouvert la possibilité d'une science qui ne chercherait pas à expliquer (le pourquoi, les causes), mais seulement à décrire (le comment, les lois quantitatives). On retrouve ici la thèse de Comte qu'on avait signalée : la science moderne a abandonné la notion de cause pour ce qu'on appelle usuellement des lois, des régularités expérimentales qu'on peut formuler sous forme quantitative, dans une langue mathématique.

Ce qui fait à mon sens l'ambiguïté de ces passages, et le fait qu'il serait exagéré d'en tirer des conclusions excessives, dans un sens ou dans l'autre :

° Contre la réduction de la différence entre les causes aristotéliennes et les propriétés galiléennes. G présente bien quelque chose de nouveau, il ne fait pas la même chose sous un autre nom. Pour Aristote, les liens horizontaux entre propriétés ne sont pas très intéressants, la quantité de celles-ci est seulement accidentelle et ne nous dit rien sur l'essence des choses. Savoir qu'un mouvement est accéléré, c'est savoir qu'il a un principe d'accélération, la gravité. G court-circuite le passage par les principes, ou le repousse de telle manière qu'il en vient à ne jamais être fait. Le raisonnement de G est le suivant : "si un mouvement a telle propriété, alors il est accéléré ; or le mouvement de chute a telle propriété, donc il est accéléré". Autrement dit, on peut caractériser le mouvement de chute indirectement, sans passer par l'analyse de ce qu'est la gravité.

° Contre l'interprétation positiviste de G. G critique une conception particulière des causes, le fait que les aristotéliens croient avoir résolu tous les problèmes quand ils disent : les corps tombent parce qu'ils ont un principe naturel de chute. Sa critique consiste à dire qu'on n'a résolu aucun problème, qu'on n'a pas fait un pas quand on profère de telles insanités ; autrement dit encore, les explications de la gravité qui existent maintenant ne sont pas satisfaisantes, mieux vaut s'en passer que de leur faire confiance. Mais il n'y a rien dans ces textes qui permette de dire que G pensait l'analyse de la cause de la gravité impossible par principe, ni plus généralement encore qu'il condamnait en général la recherche des causes et les enquêtes sur le pourquoi des phénomènes.

Donc le verdict le plus exact : il ouvre la possibilité du positivisme, d'une science légale qui ne se soucie pas des causes, mais on ne peut pas répondre de manière satisfaisante à la question de savoir s'il était lui-même positiviste.

Descartes

Pour expliquer ce que pouvait être une science non positiviste au xvii^e siècle, on va maintenant examiner la manière dont Descartes explique l'arc en ciel dans les *Météores*, chap. 8. Ce texte est intéressant au moins à deux égards :

i) Il permet de préciser ce qu'est en pratique la méthode que nous vend le *DM*. Le *DM* se présente comme une introduction aux *Essais*, mais, quand un correspondant lui demande où l'on peut voir sa méthode, Desc. lui répond en le renvoyant à son analyse de l'arc-en-ciel (A Vatier, 22 mai 1638) ; et, de fait, la seule allusion à la méthode dans les *Essais* se trouve à la première

phrase du chap. 8 des *Météores*. Autrement dit, à en croire ces passages, le seul lieu où voir la méthode en acte, c'est l'analyse de l'arc-en-ciel.

ii) Quelle espèce de physique Descartes entend mettre en place. Comme GG, Desc. s'oppose à la physique des aristotéliens, qui prétend atteindre les essences. Mais, contrairement à GG, il pense qu'on ne peut pas se passer de toute ontologie.

Structure et propos du texte

Les références sont données dans le texte d'AT, dont des photocopies sont disponibles chez Mme Pardon. Ces photocopies sont numérotées Ia etc. ; les citations sont repérées par des chiffres arabes.

Chapitre où Descartes se propose de trouver la cause de l'arc-en-ciel ; pour cela, série de questions.

1. Quelle est la cause de l'arc-en-ciel ? Cette partie se conclut p. 329 (IIb) : l'arc-en-ciel a pour cause une suite de réflexions et de réfractions.

2. Quelle est la cause des couleurs en général ? Comment la lumière en vient-elle à engendrer des couleurs ? Cette partie se conclut p. 335 (III d) : toutes les couleurs sont produites par un tournoiement des boules de matière subtile qui constitue la lumière.

3. Comment se fait-il que ce soit seulement les rayons avec un certain rayon d'incidence qui donnent lieu à des réflexions et des réfractions produisant des couleurs ? Cette partie se conclut p. 341 (Vd) : il n'y a plus de difficulté en la matière.

4. Conclusion du chap. : Desc. explique certaines irrégularités et expose des inventions propres à susciter l'admiration des ignorants, un grand spectacle de sons et lumières.

1. Quelle est la cause de l'arc-en-ciel ? Une série d'observations, d'abord sur les arcs en ciel qu'on peut voir se produire dans les fontaines, puis sur une grosse fiole. Conclusion : les deux arcs-en-ciel ont pour cause une suite de réflexions et de réfractions, deux réfl. et 2 réfr. pour le plus termes, 1 réfl. et 2 réfr. pour le plus éclatant.

2. Quelle est la cause des couleurs en général ? Comment la lumière en vient-elle à engendrer des couleurs ?

Cette deuxième question nécessite le recours à un nouveau modèle de l'arc en ciel, le prisme, ie. un triangle de verre.

— Grâce à ce prisme, Descartes fait différentes expériences, qui vont lui permettre de comprendre qu'il y a deux choses et deux seulement qui sont nécessaires à la production des couleurs : l'existence d'une réfraction, l'isolement d'un faisceau, ie. sa délimitation nette. Autrement dit, pas besoin d'une surface courbe comme la fiole ou la goutte d'eau, pas besoin qu'il y ait deux réfractions, pas besoin de réflexion. Lire citation 3.

— Il reste alors à dire comment la réfraction peut produire différentes couleurs. C'est ici qu'intervient quelque chose qui n'est plus de l'observation, mais une hypothèse sur la nature de la lumière. Descartes invoque à ce moment ce qu'il a déjà supposé dans la *Dioptrique*, à savoir que la lumière résulterait de la pression de petites boules : Lire 4.

Pour Descartes, lorsqu'un rayon de lumière est réfracté, il entre par définition dans un nouveau milieu, et les boules qui composent ce rayon vont être amenées à ne plus toutes tourner de la même manière, ce qui va provoquer l'apparition de différentes couleurs. Lire 5 en s'appuyant sur le dessin en face.

C'est ici que l'analyse cartésienne cesse d'être recevable du point de vue de la physique d'aujourd'hui. Pour la physique d'aujourd'hui, les couleurs qui apparaissent dans le prisme résultent de la décomposition de la lumière blanche. La lumière blanche est composée de rayons de différentes longueurs d'onde, et ces rayons se réfractent de manière distincte. Pas un processus de modification du rayon lumineux, mais un processus de décomposition.

— D'où finalement, ce que sont les couleurs pour Descartes : ce sont des apparences, engendrées par la plus ou moins grande vitesse de tournoiement des boules de matière subtile. Il conclut donc par une généralisation du résultat obtenu, niant la différence que les aristotéliens faisaient avant lui entre de vraies couleurs (celles qu'ils supposent être dans les objets) et les couleurs apparentes (celles des bulles de savon, des arcs en ciel, des reflets, etc.). Lire 6.

Puisque la seule chose qui existe dans les corps, c'est une capacité à faire tourner d'une manière ou d'une autre les boules de matière subtile, toutes les couleurs sont également des apparences, toutes ne sont que pour apparaître à un sujet constitué de telle manière qu'il perçoit les différents tournoiements. Les couleurs sont subjectives, non en ce sens qu'elles seraient perçues différemment par différents sujets, mais en ce sens qu'elles n'existent qu'à être perçues par un sujet.

3) Pourquoi l'arc en ciel n'apparaît-il que sous certains angles ?

Observation : un angle déterminé entre la tache rouge, l'œil, et le centre de l'arc-en-ciel.

Il va s'agir, maintenant qu'on a compris la façon dont l'arc-en-ciel était produit, de faire des calculs montrant que, étant donné l'enchaînement dont résulte l'arc-en-ciel, c'est seulement

sous des angles donnés que l'arc-en-ciel est observé. Autrement dit, faisant l'hypothèse que l'arc-en-ciel est bien celle qu'on a dite, on en déduit à quel angle l'arc-en-ciel devrait se produire, et on vérifie que c'est bien cela qu'on a observé. Ce sont seulement ces calculs qui le convainquent que l'arc-en-ciel est bien produit de la même façon que les couleurs du prisme, auparavant, il en doutait. Lire 7

Méthode, modèle et expérience dans l'explication de l'arc en ciel

— La méthode

Desc. nous dit que c'est l'explication de l'arc-en-ciel constitue la meilleure illustration de sa méthode. Or, non seulement aucune règle de la méthode n'est ici invoquée explicitement, mais on serait incapable de faire correspondre un passage précis de l'explication de l'arc-en-ciel à un des quatre préceptes énoncés dans le *Discours de la méthode* (évidence, mise en ordre, mise en série du plus simple au plus complexe, vérification qu'on n'omet rien). La méthode au sens de Descartes n'est pas comme une recette composée de différentes étapes par lesquelles on n'aurait qu'à passer pour obtenir le résultat escompté ; il s'agit plutôt d'un ensemble de préceptes généraux qui gouvernent globalement l'enquête. Ici, dans la manière de procéder de Descartes, ce qu'il faut remarquer, c'est un effort pour examiner les questions une par une, ne pas aborder une nouvelle question avant d'en avoir fini avec celle qui précédait.

— Les modèles

Il faut ici distinguer deux espèces de modèle :

* modèles comme la fiole de verre ou le prisme. Comme on l'avait dit dans notre premier bloc sur l'observation et l'expérience, on ne comprend pas la nature directement, mais indirectement, grâce à des dispositifs artificiels. Leur fonction est ici très claire : il s'agit de décrire plus précisément le phénomène qu'on veut expliquer, soit qu'on l'agrandisse (une goutte d'eau remplacée par une fiole de verre), soit qu'on l'isole (le prisme pour la production des couleurs). Etant donné nos organes sensoriels, nous ne pouvons pas savoir par quel chemin le rayon lumineux en vient à produire une tache d'un rouge éclatant ou terne, nous ne pouvons pas distinguer les rayons lumineux sauf une fois qu'ils sont décomposés en différentes couleurs. Le modèle transpose le phénomène de manière à ce qu'il nous soit plus accessible, il permet de spécifier les expériences, qui montrent ce qu'il y a à expliquer et comment l'expliquer.

* modèles comme les boules de matière subtile. Entre la lumière que je vois et les boules de matière subtile qui sont supposées expliquer le phénomène que je vois, il y a bien une

différence, qui n'est pas seulement une différence d'échelle. Différence de fonction aussi : la structure microscopique est supposée expliquer le phénomène macroscopique qu'est la lumière.

— L'expérience

Son existence : Descartes est très certainement un rationaliste, en ce sens qu'il pense que la raison est notre principal instrument pour découvrir la vérité, y compris en physique. Ce qu'on voit cependant sur cet exemple, c'est qu'il fait une large place à l'expérience, qui seule peut nous donner les informations nécessaires pour que nous décryptons correctement le monde.

Son espèce : dans la mesure où elle fait intervenir des instruments et des calculs, il ne s'agit pas d'une observation commune, mais bien d'une expérience scientifique.

Sa fonction : lorsque les premiers modèles interviennent, elle sert à spécifier le phénomène. Mais, à partir du moment où est avancée l'hypothèse que la lumière est une pression des boules de matière subtile et que les couleurs en sont des tournoiements, l'expérience n'intervient plus ; en particulier, elle n'intervient pas pour confirmer ou infirmer cette hypothèse sur ce qu'est la lumière.