Problème de la théière d'Etienne Klein

Dans certaines conférences qu'il donne, pour illustrer les limites de l'intuition face au calcul pour ce qui est de prédire les résultats des lois de la physique, Etienne Klein a souvent recours à une expérience imaginaire : que se passerait-il si la Terre était subitement remplacée par une théière (donc un objet de masse très différente) ?

Beaucoup, y compris parmi des spécialistes, tendent à lui rétorquer intuitivement que la théière filerait sur une orbite beaucoup plus extérieure. Or, Etienne Klein indique que la théière conserverait la même orbite que la Terre.

NB : Dans cette expérience imaginaire, on ne considère que le Soleil, la Terre et la théière. On fait fi de tout autre corps céleste, qu'il s'agisse de la Lune ou des autres planètes du système solaire ; on fait comme si elles n'existaient pas.

Raisonnement :

- L'orbite d'un objet autour d'un autre est déterminé par l'accélération qu'il lui impose (ou plutôt que les deux objets s'imposent mutuellement).
- Deux équations de la physique newtonienne sont à considérer :
    - $\mathbf{F = G\ m\ M \div d^2}$

      Où :

        - **F** est la force d'attraction (mutuelle) de deux masses.
        - **G** est la constante d'attraction universelle.
        - **M** et **m** sont deux masses exerçant leurs attractions gravitationnelles l'une sur l'autre.

          Pour le problème qui nous intéresse on supposera que :

            - **M** est la masse du Soleil.
            - **m** est successivement la masse de la Terre, puis celle la théière.
    - **F = ma**

      Où :

        - **F** est la force subie par un corps.
        - **m** est la masse du corps.
        - **a** est l'accélération du corps.
- Si **F = ma**,

  alors **a = F ÷ m**

  Rappel : c'est **a** qui détermine l'orbite du corps.

- Si :
  - D’une part $\mathbf{a = F \div m}$
  - Et d’autre part $\mathbf{F = G\ m\ M \div d^2}$
  - Alors en substituant l’expression de **F**, on obtient : $\mathbf{a = (G\ \cancel{m}\ M) \div (\cancel{m}\ d^2)}$

  On s’aperçoit que **m** apparait à la fois en numérateur et en dénominateur, ce qui se simplifie par :

  $\mathbf{a = G\ M \div d^2}$

  La masse **m** du corps dont on veut déterminer l’accélaration (et donc l’orbite) n’intervient plus du tout dans l’équation, donc peu importe qu’elle passe de celle de la Terre à celle d’une théière.

- Autrement dit : **l’accélération d’un corps induite par l’attraction gravitationnelle mutuelle entre ce corps et un autre ne dépend aucunement de sa propre masse et totalement de la masse de l’autre corps**.

  Cela signifie bel et bien que l’accélération subie par la théière, et donc son orbite, sera exactement la même que celle de la Terre, comme l’indique Etienne Klein.

- En revanche, cela change quelque chose pour le Soleil.

  L’attraction gravitationnelle entre deux corps étant mutuelle, le Soleil est (théoriquement) autant en orbite autour de la Terre que la Terre est en orbite autour du Soleil. Comme le Soleil est énormement plus massif que la Terre, cela se traduit plus par une très légère oscillation du Soleil que par une trajectoire d’ellipse autour de la Terre (en fait, le centre de l’ellipse se trouve à l’intérieur du rayon du Soleil, à peine décalée par rapport à son propre centre).

  Si on change la Terre en théière, cette oscillation, déjà imperceptible avec la masse de la Terre, deviendra encore plus infinitésimale avec la masse de la théière.

- En jouant sur la définition de la notion d’orbite, on peut chipoter un peu.

  Par abus de langage, on dit que la Terre est en orbite autour du Soleil. En fait les deux sont en orbite l’un autour de l’autre et vice versa, avec une nette domination de l’influence du Soleil dans ce système d’attraction mutuelle.

  Si on tient cependant à l’idée que c’est la Terre qui est en orbite autour du Soleil et pas l’inverse, du fait de son oscillation infinitésimalement modifiée, le centre du Soleil n’est plus tout à fait au même point qu’auparavant dans un repère spatial. Si on définit l’orbite de la Terre (puis celle de la théière) comme sa trajectoire autour du centre du Soleil, alors elle n’est effectivement plus tout à fait la même.

  Il est cependant plus juste de dire que la Terre et le Soleil sont tous deux en orbite autour du centre gravitationnel du système commun qu’ils forment. Dans ce cas, l’orbite de la théière reste bien inchangée par rapport à ce centre commun ; seule change l’orbite du Soleil (son oscillation) autour de ce centre.

  Dans un cas comme dans l’autre, l’argument global d’Etienne Klein, qui est que la théière ne filerait pas sur une orbite toute autre et qu’un observateur ne percevrait pas de différence de trajectoire par rapport à la course de la Terre reste valide.