

Titre : Changements de référentiels

Présentée par : Alfred Hammond

Rapport écrit par :

Correcteur : Jules Fillette, Julien Froustey

Date : 08/04/2020

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année

Plan détaillé

I- Cinématique classique des changements de référentiel

- 1) Dérivée d'un vecteur
- 2) Composition des vitesses
- 3) Composition des accélérations

II- Dynamique classique des changements de référentiel

- 1) Référentiel galiléen, forces d'inertie
- 2) Forces d'inertie d'entraînement
- 3) Force de Coriolis

III- Changements de référentiel en relativité restreinte

- 1) Transformation de Lorentz
- 2) Simultanéité relativiste
- 3) Composition des vitesses

Questions posées par l'enseignant

Un point important : éviter de dire « ce référentiel est/n'est pas galiléen ».

L'aspect galiléen d'un référentiel est toujours une approximation, et est en fait intrinsèquement relié à l'expérience. Soit le référentiel, pour mon expérience, à la précision que je recherche, peut être considéré galiléen, soit il faut considérer des forces d'inertie. Cette condition peut prendre plusieurs formes :

- Pour un référentiel en rotation, on considère souvent [durée expérience] \ll [période rotation]
- Pour négliger les effets de marée, il faut réaliser l'expérience sur une petite distance (de sorte que le champ de gravité est localement uniforme)
- Si un référentiel est en mouvement par rapport à un autre que l'on considère comme « plus galiléen » (être très prudent avec ce genre d'expression), il faut que durant l'expérience réalisée, le référentiel d'étude soit en translation rectiligne uniforme par rapport au référentiel *considéré/supposé galiléen*.

Commentaires donnés par l'enseignant

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)

Alfred a fait un choix que je ne peux que **vivement** déconseiller : une leçon est un cours donné par un professeur qui réalise des développements au tableau (vous devez faire les calculs au tableau, etc.), ce n'est pas une conférence qui se résume à une suite de slides. Même si le format cette année est très particulier, ne perdez pas de vue les fondamentaux.

Sinon, et de manière assez logique en enchaînant les slides, le contenu proposé recouvre à peu près tout ce qu'il est possible de traiter... mais il faut faire des choix.

En 30 minutes, on peut envisager :

- De mettre la cinématique en prérequis (parce qu'en plus, c'est pas intéressant), et de traiter en détail un exemple avoir force d'inertie d'entraînement (pesanteur terrestre, manège tournant...) et un avec Coriolis (pendule de Foucault, vents géostrophiques, déviation vers l'Est...).
- De faire la cinématique (rapidement : on fait la composition des vitesses, et les accélérations sur slide), en gardant le temps de traiter une application (on veut faire de la physique, discuter les phénomènes, pas juste des calculs).
- De vouloir mettre de la relativité. Dans ce cas-là il me semble nécessaire de mettre les changements de référentiel de prépa en prérequis, et de discuter transformation de Galilée/Lorentz en discutant les problèmes de la mécanique classique (notamment avec l'électromagnétisme). *En 30 minutes le jour J, il me semble plus raisonnable de se cantonner au programme de prépa, la relativité restreinte fournissant une ouverture toute trouvée à la leçon.*

Niveau : CPGE suffit pour la mécanique classique, si on veut parler de transformation de Lorentz il faut forcément passer au niveau Licence.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Notions fondamentales (mécanique classique) :

- Force d'inertie d'entraînement
- Force de Coriolis

Bien appuyer sur l'idée que ces « forces » sont juste une réécriture de l'accélération

- Référentiel galiléen ou non

Notions secondaires :

- Transformation de Galilée -> Lorentz

Important : définition d'un *référentiel galiléen*. La meilleure source là-dessus est le rapport du jury 2018. C'est clair, net et précis. La notion de centre d'inertie est primordiale, puisque la mécanique ne traite pas que des points matériels. Enfin le principe d'inertie est un postulat d'existence de certains référentiels particuliers dits galiléens, sinon il n'apporte rien par rapport à la deuxième loi de Newton.

- 1 - Ces deux questions, pourtant fondamentales pour un futur agrégé, ont posé de nombreux problèmes.
 - Un référentiel correspond à la donnée d'un solide et d'une horloge. La notion de solide est ici fondamentale. Sur un solide, avec des axes fixes, on peut construire un repère d'espace. Se donner simplement un repère n'est pas suffisant : un repère correspond à une base de projection ; mais si l'on ne sait pas si cette base est fixe ou non dans le référentiel, toute dérivation est impossible. De même, sans horloge associée, cela n'a pas de sens de repérer simplement une position dans l'espace pour décrire un mouvement.
 - La définition d'un référentiel galiléen n'a pas pratiquement jamais été donnée correctement. La plupart des candidats se sont contenté de phrases du type : "un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vrai". Quand ils énoncent ce dernier, la plupart des énoncés reviennent à : "dans un référentiel galiléen, le mouvement d'un corps isolé ou soumis à des forces qui se compensent est rectiligne uniforme". Ce n'est pas suffisamment précis pour être recevable. Il est en effet crucial d'avoir en tête que l'objet en question est la plupart du temps un solide et que le principe d'inertie - tout comme sa contraposée, le principe fondamental de la dynamique, ou son extension, le théorème de la résultante dynamique - ne fournissent des informations que sur le mouvement de son centre d'inertie, mais ne disent rien d'une éventuelle rotation propre autour de ce centre d'inertie. Ce point, qui faisait déjà l'objet d'une remarque claire dans le rapport de la composition d'il y a deux ans, doit être éclairci par les candidats. L'énoncé correct correspondant à cet aspect du principe d'inertie serait : "dans un référentiel galiléen, le mouvement du centre d'inertie d'un corps isolé ou soumis à des forces qui se compensent est rectiligne uniforme". A titre d'illustration et comme moyen mnémotechnique, on pensera à la scène du film *Interstellar* dans laquelle le héros tente de s'arrimer à un vaisseau spatial en train de se désintégrer : dans un référentiel de la caméra, localement galiléen, ledit vaisseau peut être considéré comme isolé et son centre d'inertie a un mouvement rectiligne uniforme (pendant au moins un moment), mais il est malheureusement en rotation propre rapide autour de ce barycentre, ce qui fait le sel de la scène.
 - Par ailleurs, pour les candidats qui décident d'énoncer le principe d'inertie, aucun ne l'énonce comme un postulat d'existence : le principe d'inertie postule en effet l'existence d'un référentiel dit galiléen. Au delà de son intérêt dans la construction de la physique, cette idée d'existence est cruciale pour distinguer le principe d'inertie d'une simple conséquence du principe fondamental de la dynamique.

Bibliographie conseillée

Ouvrages habituels de prépa.

Toute la Mécanique, Cours et exercices corrigés, Bocquet, Faroux, Renault, Dunod (2002).

Mécanique, Fondements et applications 7^{ème} édition, J.-Ph. Pérez, Dunod (2014).

La physique par la pratique, Baptiste Portelli, Julien Barthes, H&K (2005).