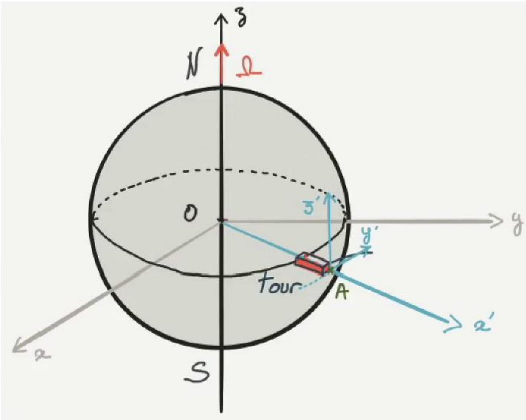
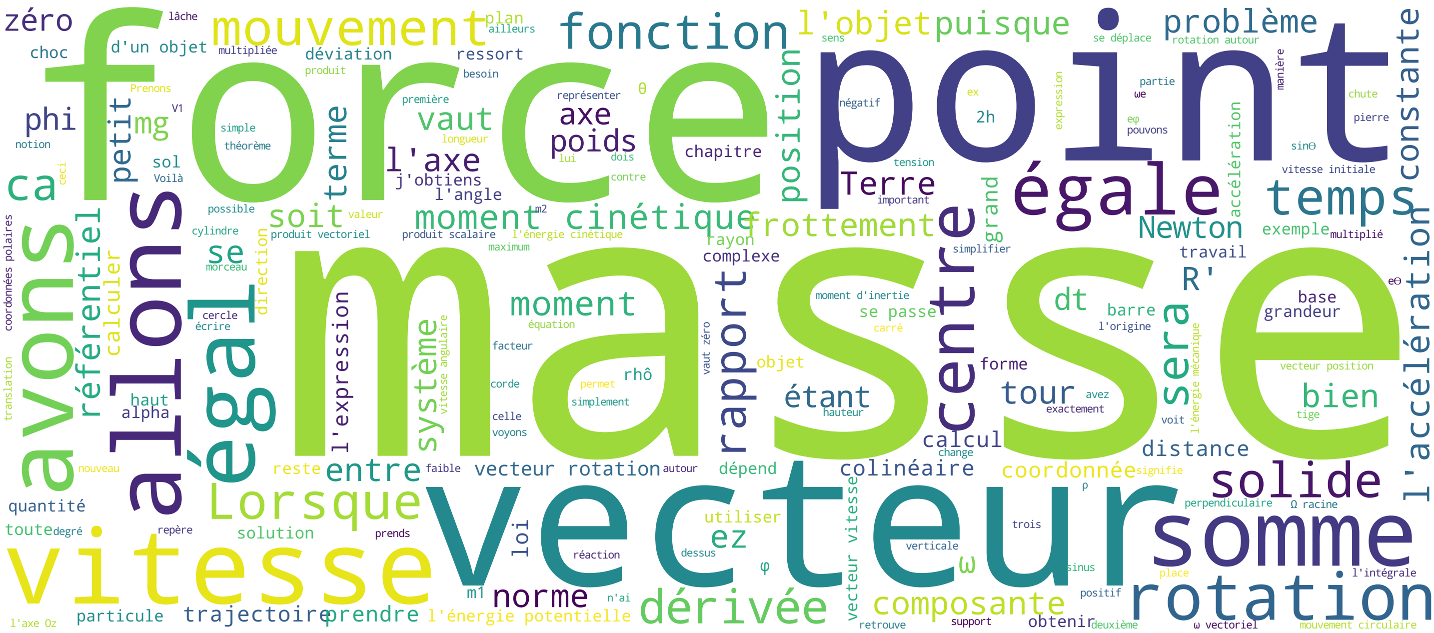
Physique générale : mécanique



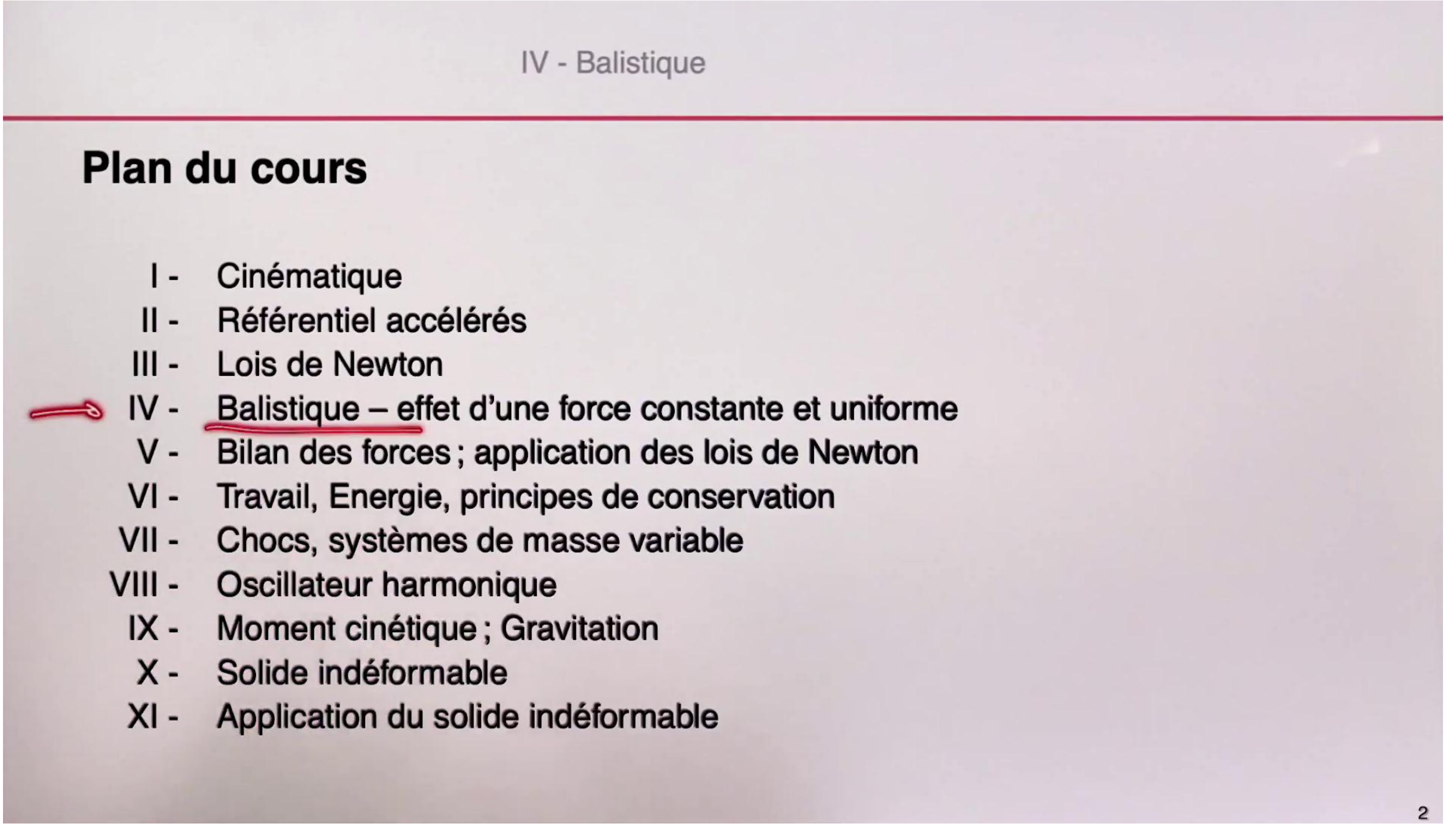
Effet de la rotation de la Terre

Partie 1

Prof. Cécile Hébert



Video

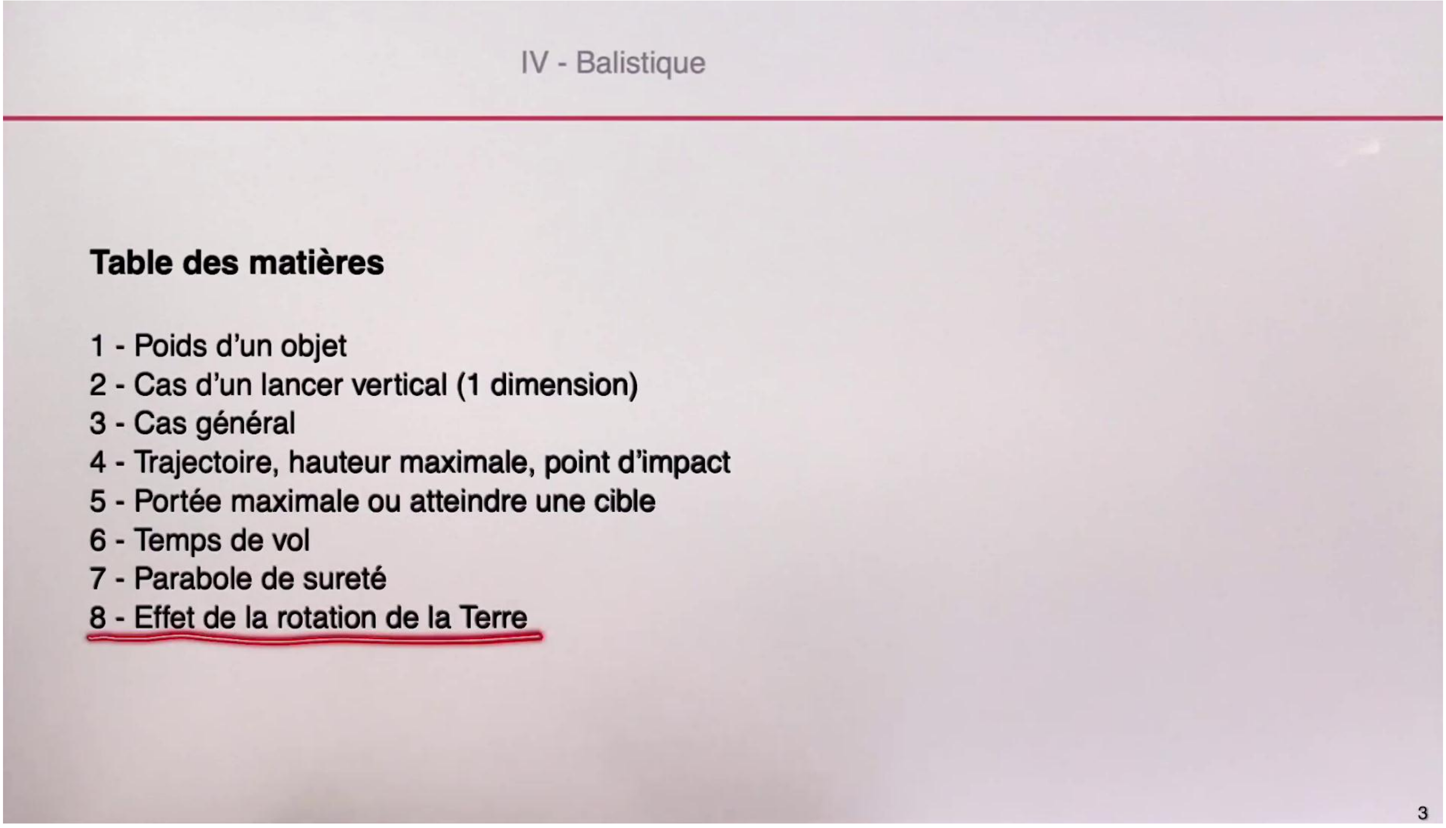


Bonjour ! Jusqu'à présent, dans notre approche de la balistique, nous avons uniquement considéré le poids d'un objet et nous avons considéré l'auditoire comme un référentiel galiléen. Nous avons négligé deux choses. D'une part, les frottements de l'air et d'autre part, la rotation de la Terre. Dans ce paragraphe, nous allons maintenant nous intéresser à l'effet de la rotation de la Terre sur la trajectoire balistique d'un objet. Et pour rester simple, nous nous contenterons de regarder la chute d'un objet lâché d'une hauteur h sans vitesse initiale. Cette partie est complexe et divisée en deux vidéos. Dans la première, nous allons poser le problème et faire une analyse conceptuelle et voir ce qui se passe quand on prend une approche en quelque sorte intuitive.

Notes

Summary

0m 05s

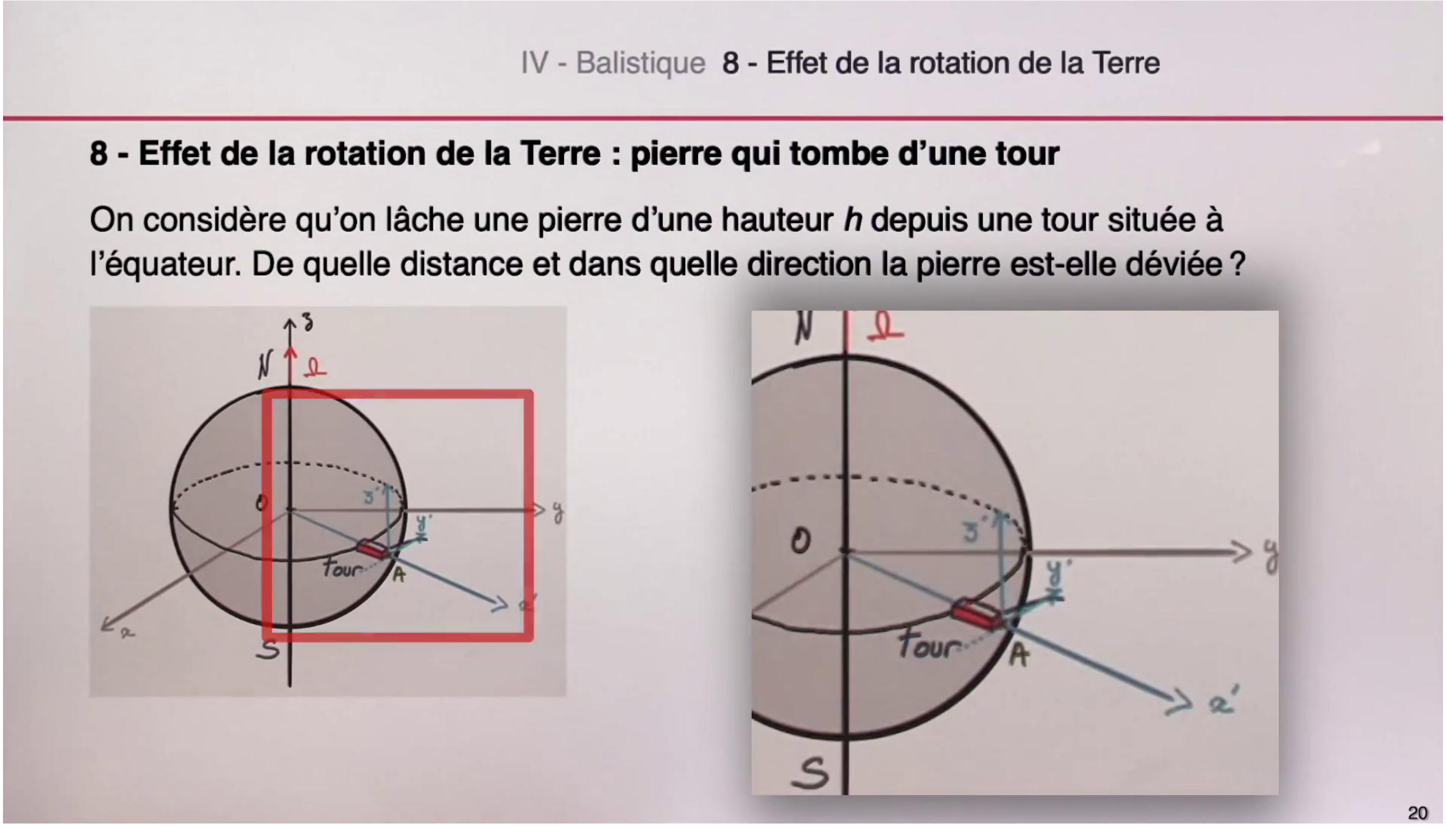


Nous sommes dans le chapitre 4 sur la balistique et nous allons voir l'effet de la rotation de la Terre sur la chute d'un objet.

Notes

Summary

0m 51s

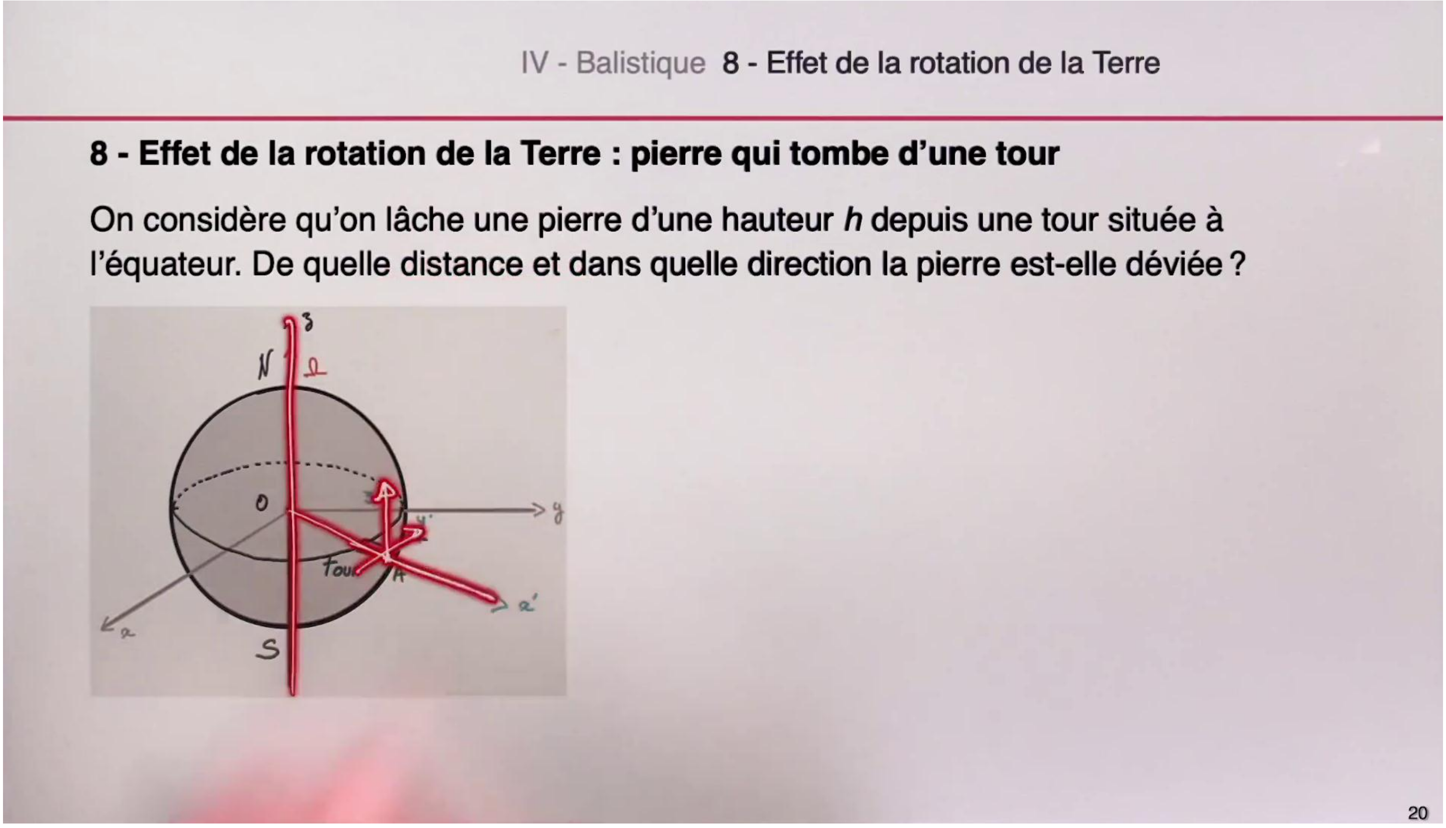


L'effet de la rotation de la Terre sera suffisamment compliqué. Nous allons donc vraiment simplifier le problème. Nous reprenons le problème de base d'un objet lâché d'une hauteur h sans vitesse initiale. On le lâche depuis une tour de hauteur h et pour simplifier encore un peu plus, nous considérons que la tour se trouve à l'équateur. La question que nous nous posons, c'est : est-ce que le fait de prendre en compte la rotation de la Terre va provoquer une déviation de la pierre ? Et si oui, de quelle distance et dans quelle direction ? Nous avons deux moyens d'aborder le problème. Le premier, intuitif, est de se dire puisque je lâche la pierre de la tour alors que la Terre tourne, la Terre tournant autour de son axe, cela revient à dire que j'ai aussi, au moment du lâcher, une vitesse qui, pour l'observateur, paraît horizontale, dirigée vers l'est. Lorsque je lâche un objet en lui communiquant une vitesse horizontale, il va avoir une trajectoire parabolique et cela va provoquer une déviation. Maintenant, il ne faut pas oublier que le sol tourne aussi. Donc pendant le temps de chute, la Terre s'est déplacée, le pied de la tour a avancé et cela va raccourcir la distance de la parabole. Il nous faudra donc faire le calcul pour vérifier que nous avons bien une déviation et dans quel sens.

Notes

Summary

1m 00s

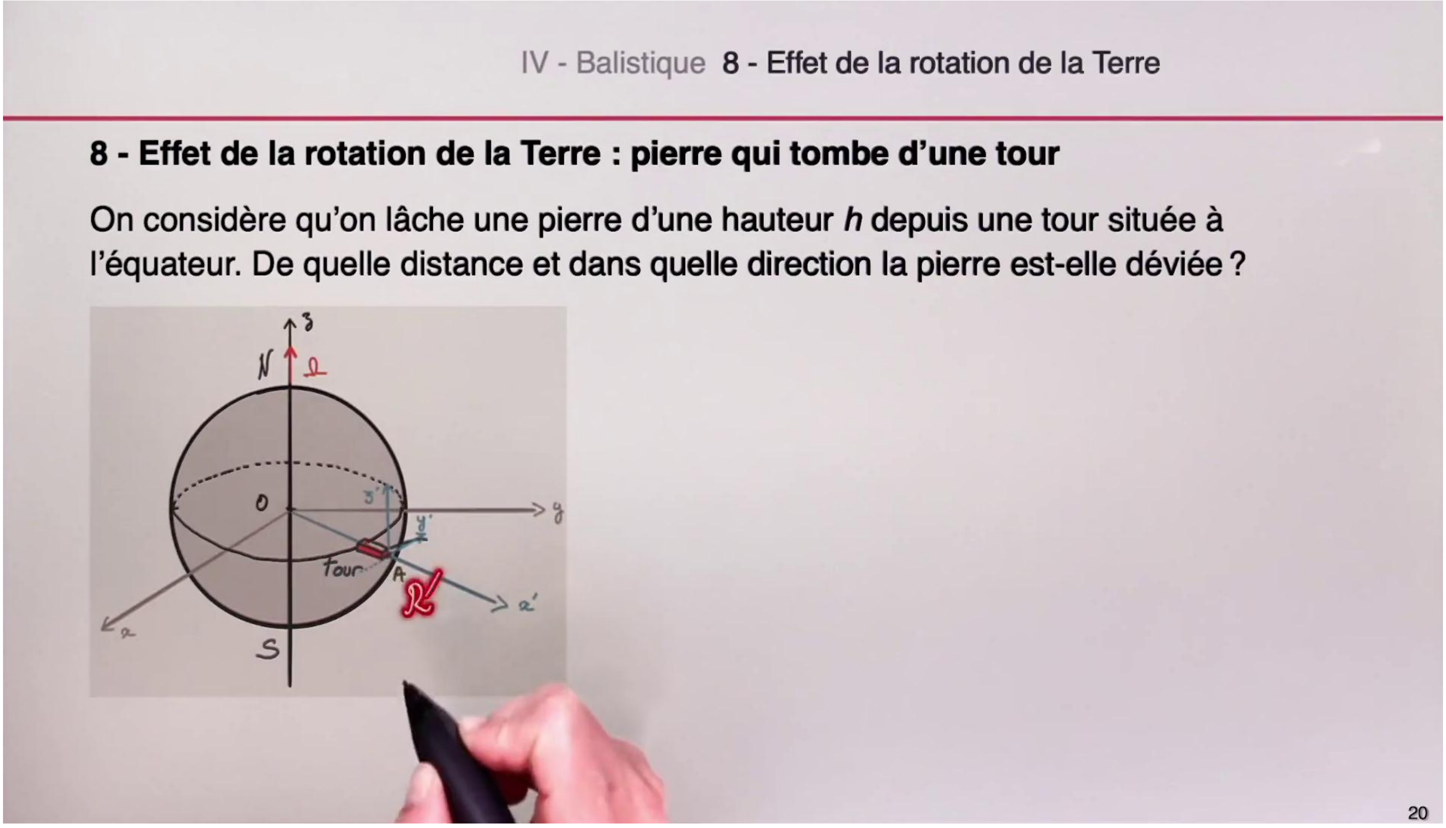


La deuxième option sera de considérer que nous faisons l'observation dans un référentiel accéléré puisqu'il est en rotation autour de l'axe de la Terre. Nous allons donc prendre deux référentiels, un référentiel fixe géocentrique avec des axes x, y et z, l'axe Oz étant l'axe de rotation de la Terre. L'origine de ce référentiel sera le centre de la Terre. Notre deuxième référentiel sera adapté à l'observateur. L'observateur est en haut de la tour. Nous allons donc prendre l'origine A en haut de la tour comme axe qui sera vertical pour l'observateur, un axe Ax' parallèle à la tour. L'axe Ay' sera un axe ouest-est et l'axe z' sera orienté sud-nord, donc parallèle à l'axe Oz.

Notes

Summary

2m 28s



Nous aurions pu prendre aussi les axes des coordonnées sphériques, mais puisque nous sommes à l'équateur, ça n'est pas nécessaire.

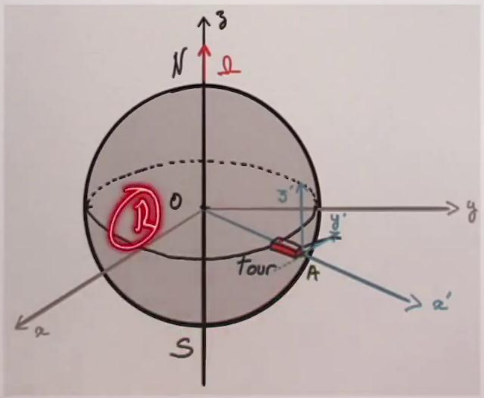
Notes

Summary

3m 30s

8 - Effet de la rotation de la Terre : pierre qui tombe d'une tour

On considère qu'on lâche une pierre d'une hauteur *h* depuis une tour située à l'équateur. De quelle distance et dans quelle direction la pierre est-elle déviée ?



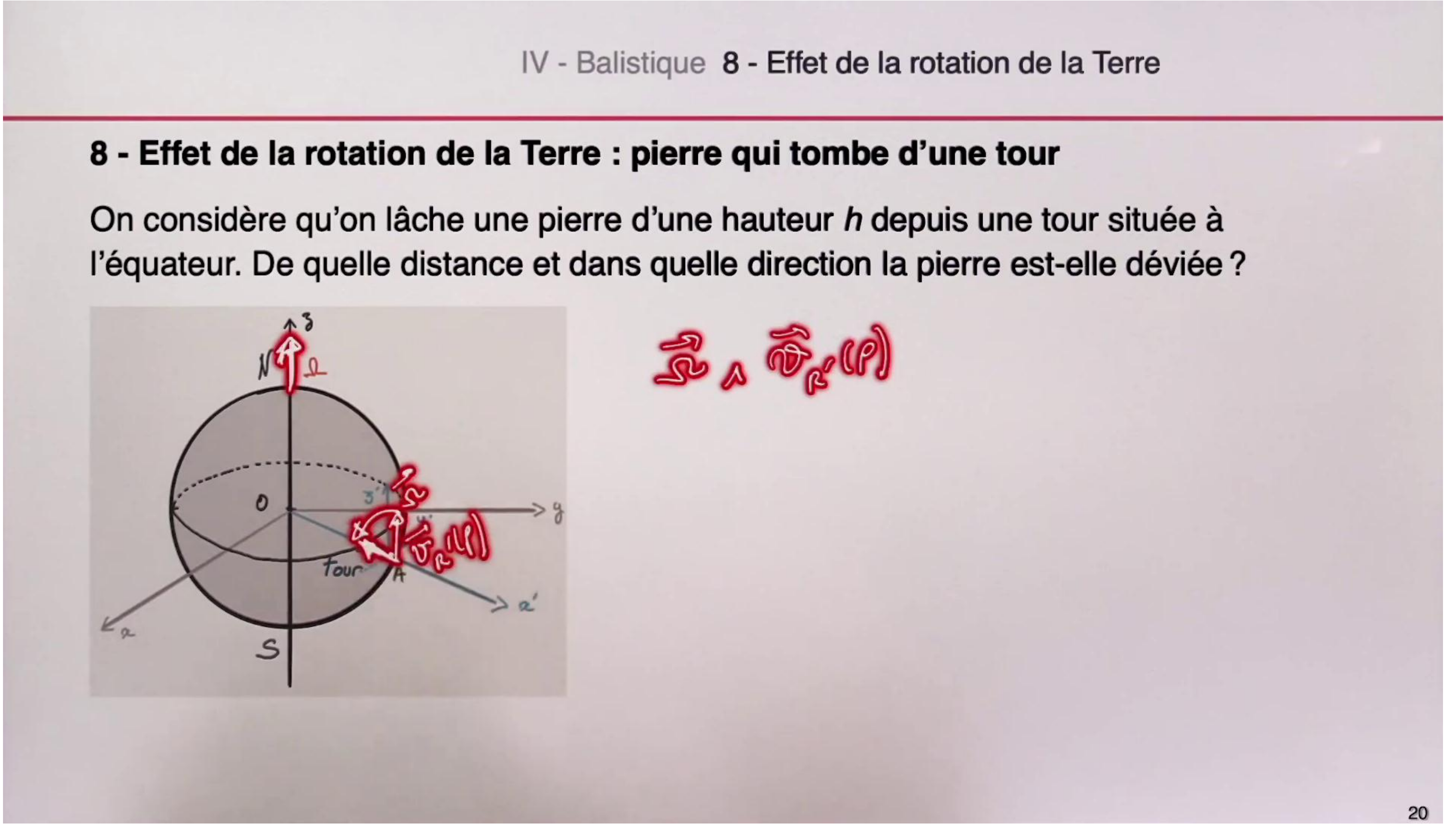
20

Ce deuxième référentiel sera appelé R' et le premier référentiel sera R.

Notes

Summary

3m 36s

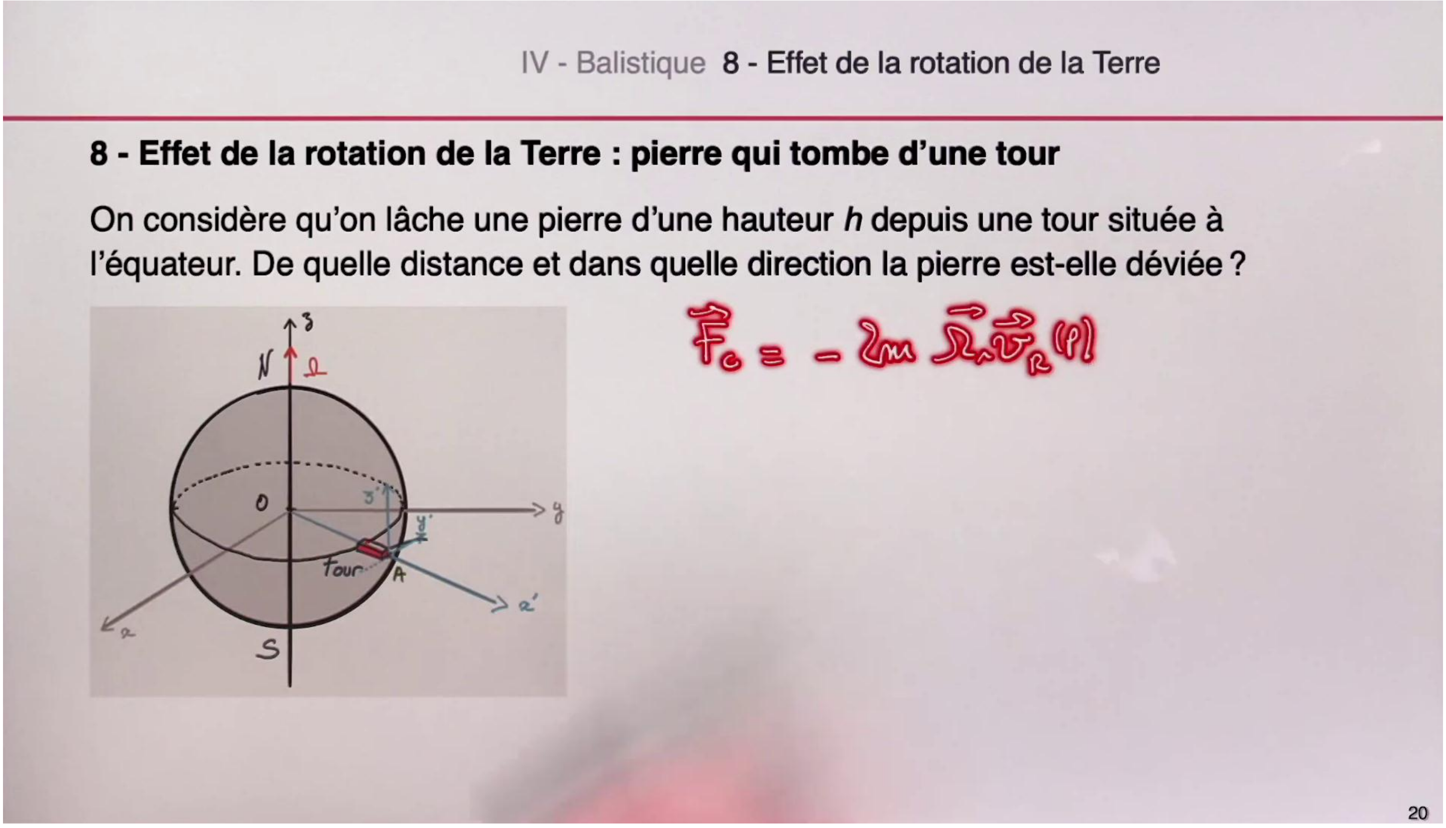


Lorsque je lâche un objet depuis le sommet de la tour, il tombe, il a donc une vitesse dans R' parallèle à la tour. Le référentiel R' est en rotation dans R avec le vecteur rotation selon l'axe sud-nord de la Terre, je peux donc reproduire le vecteur rotation partant de A. Lorsque je cherche l'accélération de Coriolis, je dois calculer Ω vectoriel v dans R' de P.

Notes

Summary

3m 42s

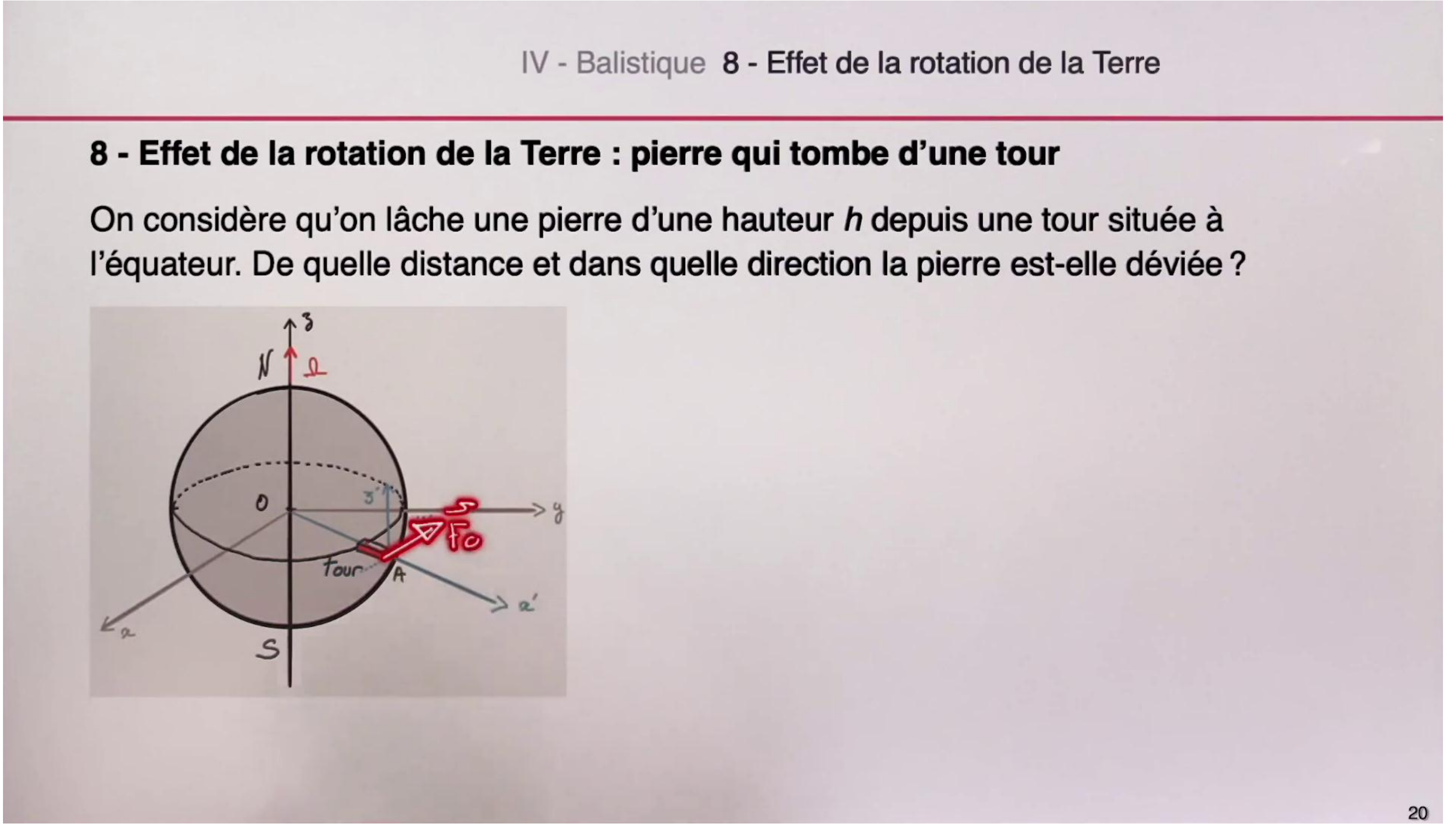


Je fais le produit vectoriel Ω vectoriel v dans R' de P et j'obtiens un vecteur qui est colinéaire à Oy' vers les Y' négatifs. La force de Coriolis est égale à moins 2m Ω vectoriel v dans R' de P. Elle est donc dirigée à l'opposé de cette accélération de Coriolis.

Notes

Summary

4m 17s

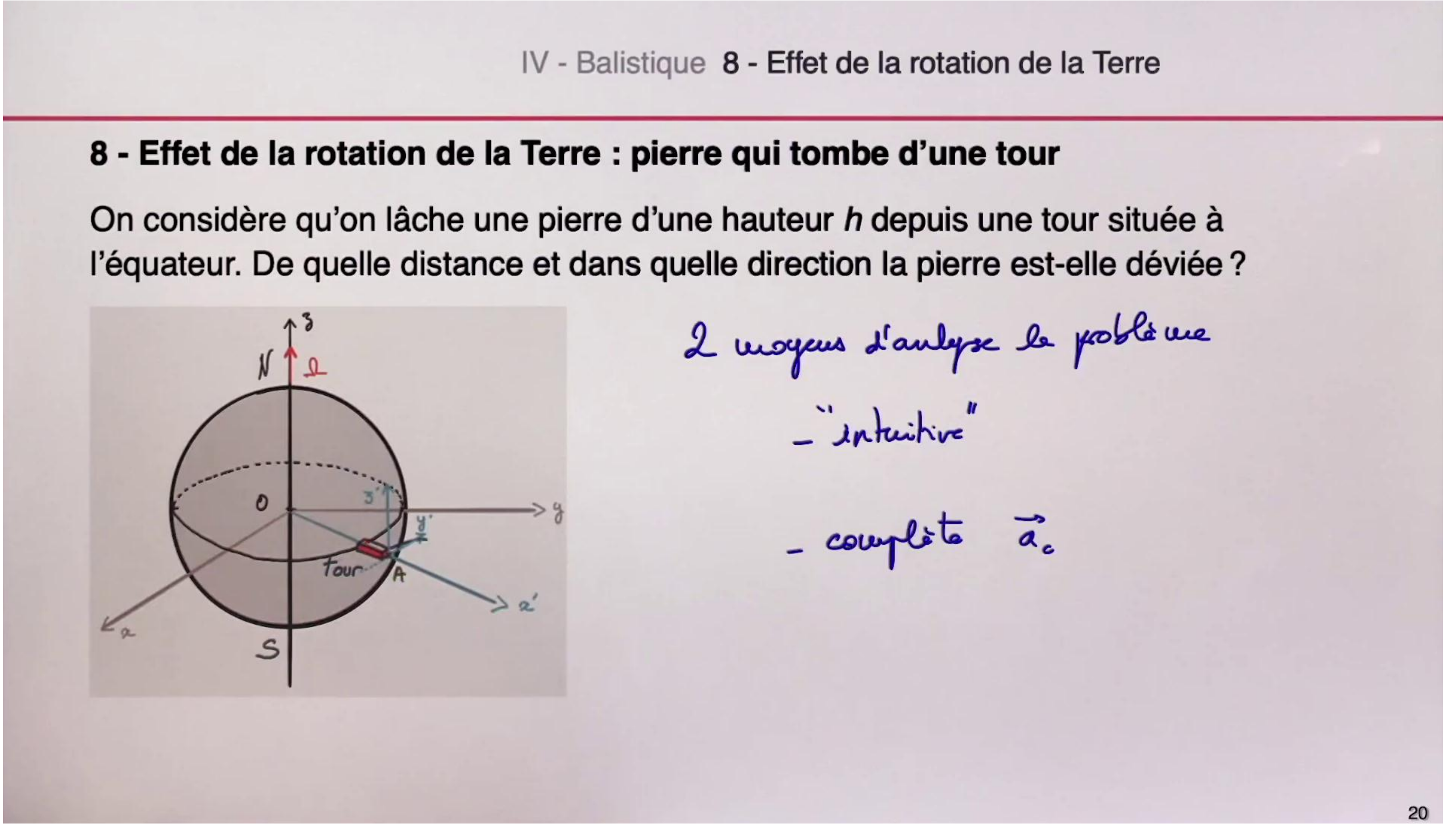


Je vais donc avoir une force d'inertie, force de Coriolis, selon les y' positifs.

Notes

Summary

4m 44s

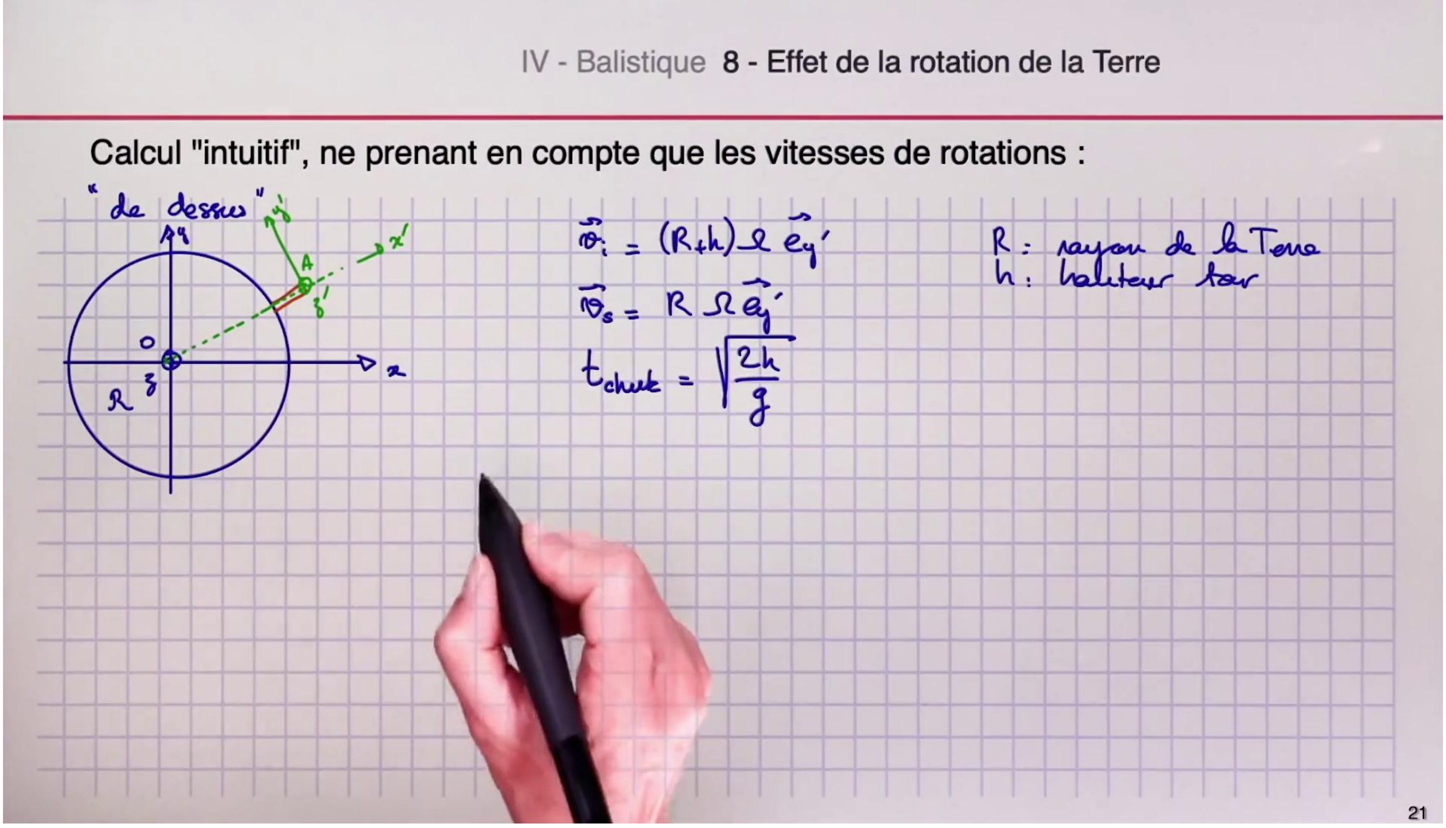


Cela va nous provoquer une déviation de la pierre vers l'est. Nous avons donc deux moyens d'analyser le problème. Une analyse intuitive. Nous allons commencer par celle-là pour faire le calcul et une analyse complète avec l'accélération de Coriolis. Commençons par cette analyse intuitive.

Notes

Summary

4m 51s

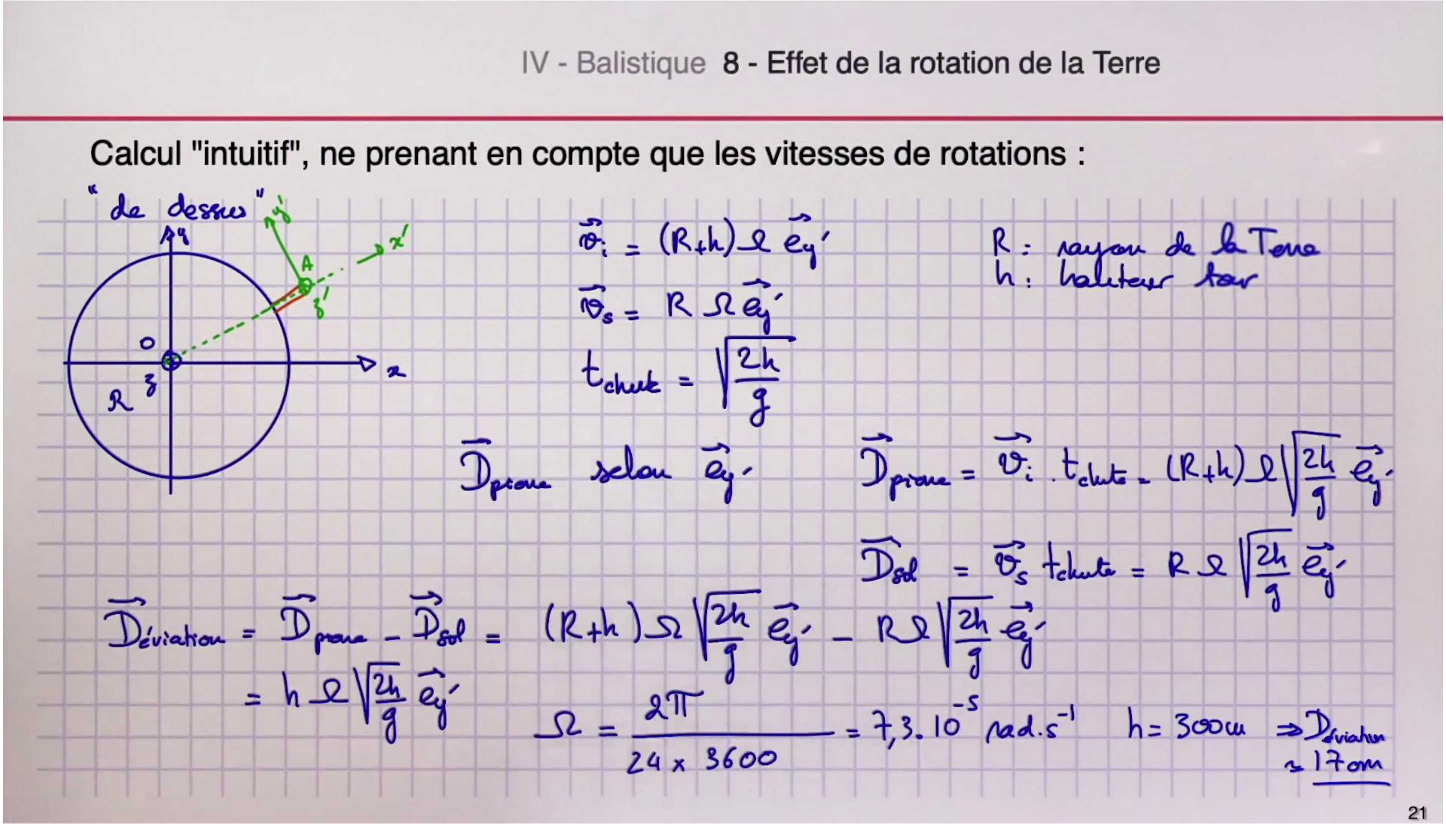


Puisque la tour est à l'équateur, nous allons faire « une vue de dessus », c'est-à-dire pointant selon un axe sud-nord. Je vais avoir l'axe de rotation de la Terre pointant hors de la feuille. Je commence par représenter le référentiel R géocentrique. La Terre tourne dans ce référentiel, donc la tour à l'équateur que nous allons voir dans le plan de la feuille, va faire le tour dans ce référentiel. Elle aura un mouvement circulaire uniforme. Je vais la représenter à une certaine position. Voici la tour. Cela me permet de représenter le référentiel R' et son repère cartésien. A, x', y', z'. Je lâche la pierre depuis A sans vitesse initiale, mais la rotation de la Terre lui donne une vitesse horizontale vi. Cette vitesse initiale vi s'écrit donc vi = (R+h)Ωey'. R est le rayon de la Terre, h la hauteur de la tour. Le sol a une vitesse vs : RΩey'. Le temps de la chute est uniquement lié à la hauteur de chute. Nous avons vu en balistique que le temps de chute ne dépend pas de la vitesse horizontale. Nous avons déjà calculé ce temps : racine de 2h/g. Le vecteur déplacement de la pierre lors de la chute selon ey' sera donc égal à vi t chute soit (R+h)Ω racine de 2h/g ey'.

Notes

Summary

5m 18s



Le déplacement du sol, de la même manière sera égal à vs t chute R Ω racine de 2h/g ey'. Je vais donc mesurer une déviation de la pierre qui sera égale à Dpierre moins Dsol, soit (R+h)Ω racine de 2h/g ey' moins R Ω racine de 2h/g ey'. R Ω racine de 2h/g, R Ω racine de 2h/g, ces deux termes vont se simplifier. Il ne me restera donc plus que h Ω racine de 2h/g ey'. Nous observons donc bien une déviation vers l'est positive selon Ay'. Si j'essaie de faire l'application numérique, le vecteur rotation de la Terre Ω, la Terre fait un tour 2π en 24 heures, donc 24 multiplié par 3 600 secondes par heure, soit 7,3 x 10^−5 radian par seconde. Prenons une hauteur de 300 mètres, nous obtenons une déviation de 17 centimètres. Ça n'est pas grand chose, mais ça reste quand même significatif. On voit que cette déviation est petite devant la hauteur de la tour. Nous avions raison de la négliger dans nos expériences auditoires, mais peut-être qu'elle serait mesurable.

Notes

Summary

7m 28s

Voilà, vous avez vu la problématique qu'est-ce qui se passe quand on veut tenir compte de la rotation de la Terre pour la chute d'un objet ? Et vous avez vu l'approche intuitive lorsqu'on prend uniquement en compte la rotation de la Terre et la vitesse horizontale communiquée à l'objet lorsqu'on le lâche à cause de la rotation de la Terre. Dans la prochaine vidéo, nous allons faire le calcul complet en tenant compte du changement de référentiel et du fait qu'on est dans un référentiel non galiléen.

Notes

Summary

9m 27s