

Fiche professeur

THEME du programme : Comprendre | Sous-thème : Champs et forces

Le champ de pesanteur local

Type d'activité : Activité documentaire

Conditions de mise en œuvre :

Cette activité a pour but d'étudier la notion de modèle à travers un exemple : *le champ de pesanteur*.

On souhaite faire découvrir aux élèves :

- qu'un modèle constitue une simplification du réel, toujours complexe : la relation mathématique de la loi de la gravitation permet d'expliquer ou de prévoir le comportement de nombreux systèmes en mécanique : c'est un premier modèle pour décrire la pesanteur terrestre.
- qu'un modèle est adapté ou non à une situation, s'il ne l'est pas, il faut faire appel à un modèle plus raffiné, souvent plus compliqué : ici, la loi de la gravitation universelle est insuffisante pour expliquer le retard pris par le pendule de Jean Richer, le modèle va être affiné en tenant compte d'une part de l'influence de la rotation de la Terre et d'autre part de la forme de la Terre.

L'activité commence par un document trouvé sur internet qui illustre le fait que la pesanteur terrestre est un sujet d'actualité et que l'enjeu est de taille puisqu'il touche les grandes questions du moment sur l'évolution du climat, par exemple.

Elle se poursuit avec une première description du champ de pesanteur qui fait appel aux connaissances des élèves et qui leur permet de conclure que ce premier modèle est le plus souvent satisfaisant.

Ensuite, une situation historique est décrite qui montre une limite du modèle précédent. Puis on entraîne l'élève dans l'étude de l'influence de deux paramètres (la rotation et la forme de la Terre), qui permettent d'affiner le modèle.

Enfin, un retour sur le document initial est fait pour montrer que les recherches actuelles essaient d'affiner d'avantage le modèle.

Cette activité peut se faire en classe entière où les élèves travaillent en autonomie (ou en binôme) en faisant régulièrement le point avec tous les élèves (questions 4, 10 et à la fin).

Pré-requis : - champ de pesanteur local (première S)
- loi de la gravitation ; champ de gravitation (première S)

NOTIONS ET CONTENUS	COMPETENCES ATTENDUES
Lien entre le champ de gravitation et le champ de pesanteur.	Identifier localement le champ de pesanteur au champ de gravitation, en première approximation.

Compétences transversales : mobiliser ses connaissances ; rechercher et extraire l'information utile ; confronter des résultats aux constats expérimentaux ; exercer son esprit critique.

Mots clés de recherche : champ de pesanteur, champ de gravitation, modèle

Provenance : Académie d'Orléans-Tours

Adresse du site académique : <http://physique.ac-orleans-tours.fr/php5/site/>

Le champ de pesanteur local

Document :

GOCE – Mission de gravimétrie spatiale

Article mis à jour le 8 avril 2009

Par Cécile Michaut,

Extrait :

Le 17 mars, un satellite baptisé Goce (prononcer à l'italienne, « Gotché ») a été lancé depuis la base russe de Plesetsk, à l'aide d'un missile SS-20 reconverti en lanceur. Son but : mesurer très précisément le champ de gravité sur l'ensemble de la Terre, afin d'observer en détail la circulation océanique, les mouvements des calottes polaires, ou encore les variations de densité de la croûte terrestre. Les informations ainsi obtenues permettront d'améliorer les modèles du climat, et de mieux comprendre la tectonique des plaques à l'origine des tremblements de terre et des volcans. Les premières mesures de ce petit satellite d'une tonne développé par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) sont prévues en août 2009. Le coût de Goce s'élève à 350 millions d'euros.

Source : PlanèteMag (Cité des sciences et de l'industrie)

[http://www.cite-](http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/science_actualites/sitesactu/magazine/print_actu.php?id_article=12023&id_mag=3&lang=fr)

[sciences.fr/francais/ala_cite/science_actualites/sitesactu/magazine/print_actu.php?id_article=12023&id_mag=3&lang=fr](http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/science_actualites/sitesactu/magazine/print_actu.php?id_article=12023&id_mag=3&lang=fr)

Le lancement, depuis la base de Plesetsk, a eu lieu le 17 mars 2009.

La mission devait à l'origine terminer sa cartographie du champ de gravité terrestre en avril 2011, elle a été étendue de 18 mois, elle se terminera donc fin 2012.

Données numériques :

- rayon de la terre : $R_T = 6371 \text{ km}$

- masse de la terre : $M_T = 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

- constante de gravitation universelle : $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

Les valeurs mesurées sont :

Lieu	Pôle Nord	Paris	Cayenne
g en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$	9,832	9,809	9,780
g (premier modèle) en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$			
g (forme) en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$		-	
g (rotation) en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$		-	

Pour comprendre les objectifs de Goce, un rappel sur la gravitation terrestre s'impose !

Première description du champ de pesanteur :

Hypothèse : La Terre est assimilée à une sphère homogène de centre O, de masse M_T et de rayon R_T .

1 – Citer le nom du savant qui a énoncé la loi de la gravitation. A quelle époque a-t-il vécu ?

2 – Exprimer la valeur A_0 du champ gravitationnel créé par la Terre en un point M situé à la surface de la Terre en fonction de G, M_T et R_T . Calculer A_0 .

3 – a) Rappeler la relation permettant de calculer la valeur du poids d'un objet sur Terre.

b) En première approximation, on définit souvent le champ de pesanteur terrestre comme étant égal au champ gravitationnel, calculé à la surface de la Terre. Compléter la troisième ligne du tableau ci-dessus (g (premier modèle)). Ce premier modèle est-il opérant ? Justifier.

Description plus précise ...

En effet, ce modèle n'explique pas tout ... Le champ de pesanteur local n'est pas rigoureusement égal en tout lieu ...



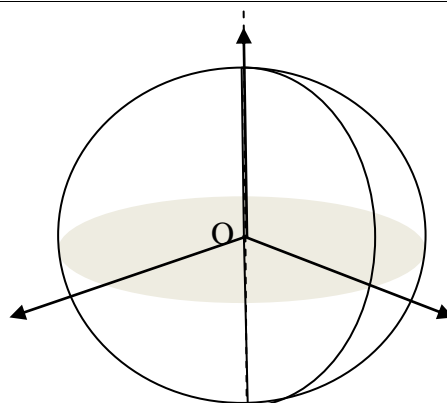
- fig. 1 -

En 1672, l'astronome français Jean Richer constate qu'une horloge parfaitement bien réglée à Paris, retarde de plus de deux minutes par jour à Cayenne. Or la période d'un pendule est directement liée à la valeur du champ de pesanteur local.

Newton et Huygens attribuent ce retard au mouvement de rotation de la Terre sur elle-même et au fait que la Terre ne devait pas être une sphère mais une surface de révolution aplatie suivant l'axe des pôles.

Au XVIII^{ème} siècle, l'Académie Royale décide d'envoyer deux expéditions pour mesurer la longueur d'un arc de méridien terrestre : l'une près du pôle Nord et l'autre près de l'équateur. Bouguer et La Condamine allèrent au Pérou en 1735 ; Clairaut et Maupertuis en Laponie en 1736. Ces mesures confirmèrent les hypothèses de Newton et donc la forme aplatie de la Terre.

Influence de la forme de la Terre.



- fig. 2 : à compléter -

La Terre est une « sphère » aplatie aux pôles ; la distance du centre au pôle est $R_p = 6357$ km et le rayon à l'équateur est $R_E = 6378$ km.

- 4 – Repérer sur la figure 2 le pôle Nord P, un point E de l'équateur et un point M placé à la latitude φ (mesure angulaire variant de 0° à l'équateur à $+90^\circ$ au pôle nord).
- 5 – Soit $g(P)$ et $g(E)$ la valeur du champ de pesanteur en P et en E. Déterminer l'expression à partir du champ gravitationnel, puis calculer $g(P)$ et $g(E)$. Compléter la quatrième ligne du tableau (g (forme) en $N.kg^{-1}$).
- 6 – Discuter la compatibilité de ces résultats avec ceux fournis dans le tableau précédent.

Influence de la rotation de la Terre.

La Terre est animée d'un mouvement de rotation uniforme autour de l'axe fixe des pôles. La période de ce phénomène T correspond à la durée d'un jour sidéral soit $T = 86\,164$ s.

La valeur du champ de pesanteur en M dans le référentiel géocentrique est donnée par la relation :

$$g(M) = \frac{GM_T}{R_T^2} - \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R_T \cos \varphi$$

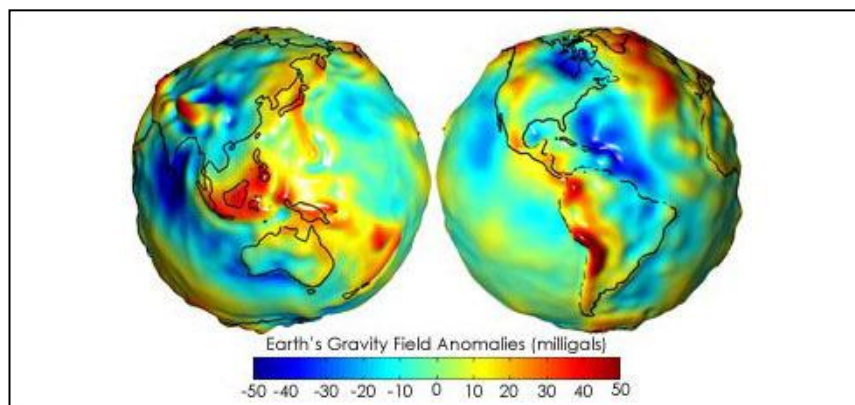
On reconnaît le terme principal dû au champ gravitationnel terrestre et un terme correctif dû à la rotation de la Terre.

- 7 – Quel est l'effet de la rotation de la Terre sur la valeur du champ de pesanteur g ?
- 8 – En utilisant le modèle précédent, déterminer l'expression de $g(P)$ et $g(E)$ puis calculer leur valeur respective.
- Compléter la quatrième ligne du tableau (g (rotation) en $N.kg^{-1}$).
- 9 – Discuter la compatibilité de ces résultats avec ceux fournis dans le tableau précédent.

Essayons d'affiner davantage le modèle.

Si la Terre avait une forme parfaitement ellipsoïdale et homogène, le champ de pesanteur serait strictement décrit en tout point de la Terre par une relation telle que celle ci-dessus, et Goce serait inutile. Mais ce n'est pas le cas : les montagnes, très massives, augmentent la gravité, et certaines zones terrestres ou océaniques sont plus denses que d'autres, leur gravité est également plus élevée. Ce sont ces minuscules variations de gravité que Goce doit mesurer.

A partir des données recueillies par GOCE, les scientifiques affineront nos connaissances de la forme de notre Terre et établiront une carte à haute résolution du **géοïde**, c'est à dire la surface de référence de notre planète ainsi que des anomalies gravitationnelles.



Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Géoïde>
- fig. 3 : le géοïde -

- 10 - Le modèle utilisé pour décrire le champ de pesanteur terrestre est-il fixe dans le temps ? A-t-il fini d'évoluer ? Pourquoi ?
- 11 - Qu'est ce qui motive aujourd'hui ces recherches ?

COMMENTAIRES :

Concernant « Première description du champ de pesanteur »

Ce premier modèle quantitatif du champ de pesanteur est opérant pour prévoir un grand nombre de résultats aussi variés que le mouvement d'un satellite artificiel ou celui d'un ballon lors d'un lancer franc au basket. C'est celui que les élèves ont utilisé sans le savoir au collège et en seconde. Pourtant rapidement, il montre ses limites ...

Concernant « Influence de la rotation de la Terre » et « Influence de la forme de la Terre »

- Selon le temps disponible, on peut n'étudier l'influence que d'un paramètre et montrer que le modèle peut toujours être affiné.

Les écarts entre $g(P)$ et $g(E)$ proviennent pour les $2/3$ de la rotation de la Terre et pour $1/3$ de son aplatissement.

- La Lune et le Soleil ont également une influence : l'intensité du champ de pesanteur varie au cours du temps en faisant apparaître des durées typiques reliées aux différentes périodes associées aux mouvements de rotation de la Lune autour de la Terre et à celui de la Terre autour du Soleil.

Prolongement possible : wikipédia présente une formule de la valeur de l'intensité de la pesanteur g donnée avec 3 termes correctifs, on peut donc poursuivre l'étude et continuer d'affiner le modèle.

Concernant « Essayons d'affiner davantage le modèle »

- Cette partie revient sur le document mis en introduction et met en avant un programme de recherche actuel pour montrer que les connaissances ne sont pas figées.

- On peut faire remarquer aux élèves que la forme du modèle évolue aussi : nous passons d'une relation mathématique à une image.

L'activité proposée est largement inspirée d'un sujet du concours général de 2005 « *Principes et applications des mesures gravimétriques* »

Le champ de pesanteur local - CORRECTION

Données numériques :

- rayon de la terre : $R_T = 6371 \text{ km}$
- masse de la terre : $M_T = 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- constante de gravitation universelle : $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

Première description du champ de pesanteur :

1 – Citer le nom du savant qui a énoncé la loi de la gravitation. A quelle époque a-t-il vécu ?

Isaac Newton (né le 4 janvier 1643 , décédé le 31 mars 1727) est un philosophe, mathématicien, physicien, alchimiste, astronome et théologien anglais.

Figure emblématique des sciences, il est surtout reconnu pour avoir fondé la mécanique classique, pour sa théorie de la gravitation universelle et la création, en concurrence avec Leibniz, du calcul infinitésimal.

2 – Exprimer la valeur A_0 du champ gravitationnel créé par la Terre en un point M situé à la surface de la Terre en fonction de G, M_T et R_T . Calculer A_0 .

$$A_0 = G \frac{M_T}{R_T^2} \quad \text{puis} \quad A_0 = 6,673 \cdot 10^{-11} \frac{5,974 \cdot 10^{24}}{(6,371 \cdot 10^6)^2} = 9,821 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

3 – a) Rappeler la relation permettant de calculer la valeur du poids d'un objet sur Terre.

$P = m \cdot g$ avec $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$; g est l'intensité de pesanteur terrestre (ou valeur du champ de pesanteur terrestre).

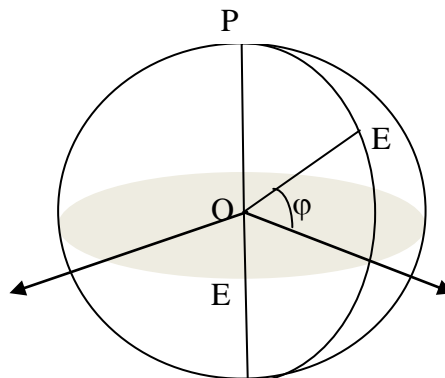
b) En première approximation, on définit souvent le champ de pesanteur terrestre comme étant égal au champ gravitationnel, calculé à la surface de la Terre. Compléter la troisième ligne du tableau ci-dessus (g (premier modèle)). Ce premier modèle est-il opérant ? Justifier.

Lieu	Pôle Nord	Paris	Cayenne
g en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$	9,832	9,809	9,780
g (premier modèle) en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$	9,821	9,821	9,821
g (forme) en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$		-	
g (rotation) en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$		-	

Les résultats obtenus aux questions précédentes sont proches : ce premier modèle est opérant.

DESCRIPTION PLUS PRECISE ...

Influence de la forme de la Terre.



- fig. 2 : à compléter -

4 – Repérer sur la figure 2 le pôle Nord P, un point E de l'équateur et un point M placé à la latitude φ (mesure angulaire variant de 0° à l'équateur à $+90^\circ$ au pôle nord).

Cf ci-dessus.

5 – Soit $g(P)$ et $g(E)$ la valeur du champ de pesanteur en P et en E. Déterminer l'expression à partir du champ gravitationnel, puis calculer $g(P)$ et $g(E)$.

$$\text{Au pôle Nord : } g(P) = G \frac{M_T}{R_P^2} = 6,673 \cdot 10^{-11} \frac{5,974 \cdot 10^{24}}{(6,357 \cdot 10^6)^2} = 9,865 \text{ N.kg}^{-1}$$

$$\text{A l'équateur : } g(E) = G \frac{M_T}{R_E^2} = 6,673 \cdot 10^{-11} \frac{5,974 \cdot 10^{24}}{(6,378 \cdot 10^6)^2} = 9,800 \text{ N.kg}^{-1}$$

Compléter la quatrième ligne du tableau (g (forme) en N.kg^{-1}).

Lieu	Pôle Nord	Paris	Cayenne
g en N.kg^{-1}	9,832	9,809	9,780
g (premier modèle) en N.kg^{-1}	9,821	9,821	9,821
g (forme) en N.kg^{-1}	9,865	-	9,800
g (rotation) en N.kg^{-1}		-	

6 – Discuter la compatibilité de ces résultats avec ceux fournis dans le tableau précédent.

On note que la prise en compte de l'aplatissement de la Terre améliore la compatibilité du modèle avec les résultats expérimentaux mais cela ne suffit pas, il faut également prendre en compte l'influence de la rotation de la Terre.

Influence de la rotation de la Terre.

7 – Quel est l'effet de la rotation de la Terre sur la valeur du champ de pesanteur g ?

La rotation de la Terre a pour effet de diminuer la valeur du champ de pesanteur g .

8 – En utilisant le modèle précédent, déterminer l'expression de $g(P)$ et $g(E)$ puis calculer leur valeur respective.

Au pôle Nord : la latitude φ vaut 90° , comme $\cos 90 = 0$, le terme correctif est nul :

$$g(P) = A_0 = 9,821 \text{ N.kg}^{-1}$$

A l'équateur : la latitude φ vaut 0° , donc $g(E) = G \frac{M_T}{R_T^2} - \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \times R_T \cos \varphi$

$$\text{D'où } g(E) = 6,673 \cdot 10^{-11} \frac{5,974 \cdot 10^{24}}{(6,371 \cdot 10^6)^2} - \left(\frac{2\pi}{861647}\right)^2 \times 6,731 \cdot 10^6 \pi \times \cos 0 = 9,786 \text{ N.kg}^{-1}$$

Compléter la quatrième ligne du tableau (g (rotation) en N.kg^{-1}).

Lieu	Pôle Nord	Paris	Cayenne
g en N.kg^{-1}	9,832	9,809	9,780
g (premier modèle) en N.kg^{-1}	9,821	9,821	9,821
g (forme) en N.kg^{-1}	9,865	-	9,800
g (rotation) en N.kg^{-1}	9,821	-	9,786

9 – Discuter la compatibilité de ces résultats avec ceux fournis dans le tableau précédent.

On note que la prise en compte de la rotation de la Terre améliore la compatibilité du modèle avec les résultats expérimentaux mais cela ne suffit pas, il faut parvenir en prendre tout en compte ...

On peut ajouter les influences de Lune, du Soleil, ...qui entraînent des variations temporelles de la valeur du champ de pesanteur local.

Essayons d'affiner davantage le modèle.

10 - Le modèle utilisé pour décrire le champ de pesanteur terrestre est-il fixe dans le temps ? A-t-il fini d'évoluer ? Pourquoi ?

Le modèle qui permet de décrire le champ de pesanteur terrestre a évolué et continue d'évoluer dans le temps, comme tous les modèles. Les modèles ne sont jamais parfaits, mais on peut toujours au fur et à mesure, les améliorer, ajouter des informations nouvelles une fois que le modèle précédent est bien connu et montre ses faiblesses.

11 - Qu'est ce qui motive aujourd'hui ces recherches ?

Aujourd'hui, l'exploitation des données scientifiques recueillies lors du vol de COGE permettra de faire considérablement progresser les connaissances sur la structure interne du globe terrestre et de disposer d'une bien meilleure référence pour étudier les océans et le climat, notamment les modifications du niveau de la mer, la circulation océanique et la dynamique des calottes polaires. La mission GOCE devrait aboutir à de nombreuses applications en climatologie, en océanographie et en géophysique, mais aussi dans les domaines de la géodésie et de la localisation.