

Interaction gravitationnelle	<u><i>Superman et la gravitation</i></u>
------------------------------	--

DESCRIPTIF DE SUJET DESTINE AU PROFESSEUR

Objectif	Assurer une continuité et une progressivité collège-lycée sur une notion commune aux programmes de cycle 4 et de seconde. <u>Notion du programme</u> : Interaction gravitationnelle			
Extraits de programmes...	Cycle 4	Seconde		
	<u>Mouvement et interactions</u> - Exploiter l'expression littérale scalaire de la loi de gravitation universelle, la loi étant fournie. - Force de pesanteur et son expression $P = mg$	<u>L'Univers</u> - La gravitation universelle - L'interaction gravitationnelle entre deux corps. - La pesanteur terrestre		
Type d'activité	Etude de document			
Description succincte	Etudier les notions de gravitation et de pesanteur terrestre à partir d'un texte qui tente d'expliquer l'origine des pouvoirs de Superman			
	<u>Activité 1</u> : (fin de cycle 4) Résolution d'un problème en utilisant la relation masse-poids.	<u>Activité 2</u> : (approfondissement fin de cycle 4 et/ou remédiation seconde) Faire le lien entre une situation de proportionnalité et une expression littérale.	<u>Activité 3</u> : (Seconde) Faire le lien mathématique entre la relation masse-poids et la force de gravitation.	
Compétences travaillées	D1.3 : Pratiquer des langages - Passer d'une forme de langage à une autre - Utiliser le calcul littéral : citer et utiliser une expression littérale D4 : résoudre un problème	D1.3 : Pratiquer des langages - Passer d'une forme de langage à une autre Compétence transversale : Analyser et traiter une question S'approprier (APP) Analyser (ANA)	- S'approprier (APP) - Réaliser (REA) - Valider (VAL)	
Remarques	<u>Place dans la progression de la séquence ou de l'année</u> : Collège : Thème Mouvement et Interactions ; prérequis : masse et poids, interaction gravitationnelle 2 ^{nde} : Thème Univers, arrive après les séances sur le mouvement et référentiels, et celui sur les interactions et les forces. <u>Cadre de mise en œuvre de l'activité</u> : - 2 ^{nde} : séance de TP - Collège : Evaluation individuelle			
Sources	Roland Lehoucq, D'où viennent les pouvoirs de Superman ? (EDP Sciences, 2003)			
Auteurs	Pierre CARRE - Lycée Grandmont - 37200 TOURS Jérôme HEURTEBIZE – Collège Choiseul – 37400 AMBOISE			

SUPPORT(S) D'ACTIVITÉ

Doc. 1 : Superman et la gravitation

Dès sa naissance, en juin 1938, se posa le problème de l'origine des pouvoirs de notre héros [...]. Vers la fin des années 1940, les textes décrivent le peuple de Krypton comme des humains plutôt ordinaires et cherchèrent l'origine des pouvoirs de Superman dans la physique. [...] Ses capacités surhumaines évoluèrent au fil de ses aventures et les premiers pouvoirs dont il fut doté semblent aujourd'hui bien modestes. [...]

Pour commencer, intéressons-nous aux origines de Superman, et plus particulièrement à sa planète de naissance, Krypton. Il s'agit d'un problème d'importance car, d'après les textes, c'est dans la différence de gravité entre Krypton et la Terre que réside la source des pouvoirs de l'Homme d'Acier. [...]

Au XVIIIème siècle, Isaac Newton a découvert que deux corps massifs s'attirent avec une force proportionnelle au produit de leur masse et inversement proportionnelle au carré de leur distance. Cette loi universelle de la gravitation régit le mouvement des planètes et explique pourquoi la Terre nous retient à sa surface. En effet, notre sensation de pesanteur est la conséquence de la force gravitationnelle que la Terre exerce sur notre corps. Si la Terre était plus massive, cette sensation serait plus forte. [...]

Supposons que, sur Krypton, Superman ait eu des performances proches de celles d'un athlète humain sur la Terre. Ses capacités physiques lui permettraient donc de franchir 7 mètres en longueur et 2 mètres en hauteur. Ses performances terrestres seront nettement plus impressionnantes d'un facteur égal au rapport entre la gravité kryptonienne et la gravité terrestre. [...] L'intensité de la pesanteur à la surface de Krypton est à peu près 30 fois supérieure à celle de la Terre. [...] Un être humain transporté sur Krypton aurait l'impression de peser comme un rhinocéros sur Terre.

Roland Lehoucq, *D'où viennent les pouvoirs de Superman ? Physique ordinaire d'un super héros*, EDP Sciences, 2003



CONSIGNES DONNÉES À L'ÉLÈVE

1. L'intensité de pesanteur sur Terre est $g_{(Terre)} = 9,81 \text{ N/kg}$. A l'aide d'un calcul et des informations du texte, montrer que l'intensité de la pesanteur sur Krypton est $g_{(Krypton)} = 294,3 \text{ N/kg}$.
2. Justifier (à l'aide de calculs) la dernière phrase du texte : « Un être humain transporté sur Krypton aurait l'impression de peser comme un rhinocéros sur Terre ».

[Données : masse _(humain moyen) = 77,1 kg ; masse _(rhinocéros blanc) = 2300 kg]

3. A l'aide des informations du texte, déterminer la hauteur à laquelle Superman est capable de sauter sur Terre.

REPÈRES POUR L'ÉVALUATION

Correction possible :

1. L'intensité de pesanteur sur Krypton est 30 fois supérieure à celle de la Terre.
 $g_{(\text{Krypton})} = 30 \times g_{(\text{Terre})} = 30 \times 9,81 = 294,3 \text{ N/kg}$
2. Poids du rhinocéros sur Terre : $P_{(\text{rhinocéros sur Terre})} = m_{(\text{rhinocéros})} \times g_{(\text{Terre})} = 2300 \times 9,81 = 22563 \text{ N}$
Poids d'un homme moyen sur Krypton : $P_{(\text{homme sur Krypton})} = m_{(\text{homme moyen})} \times g_{(\text{Krypton})} = 77,1 \times 294,3 = 22691 \text{ N}$
Les deux poids calculés sont bien équivalents (de l'ordre de 22600 N).
3. Les performances de Superman dépendent de la force de gravitation. S'il peut sauter sur Krypton à une hauteur de 2 mètres, sur Terre, l'intensité de pesanteur étant 30 fois plus faible, il pourrait sauter 30 fois plus haut, soit une hauteur de 60 mètres.

Critères de réussite :

Compétences travaillées	Critère de réussite correspondant au niveau 3 (objectif atteint)
D4 : Résoudre un problème	L'élève a compris qu'il fallait comparer les deux poids, il n'a pas été nécessaire de lui demander explicitement.
D13 : - Utiliser le calcul littéral - Utiliser les unités adaptées - Passer d'une forme de langage à une autre	- L'élève calcule correctement les deux poids demandés. - L'élève a converti la masse du rhinocéros en kilogramme et a donné ses valeurs de poids en Newton. - L'élève est capable de transcrire l'information du texte « Ses performances terrestres seront nettement plus impressionnantes d'un facteur égal au rapport entre la gravité kryptonienne et la gravité terrestre » en une multiplication par 30 pour déterminer la hauteur du saut.

RETOUR D'EXPERIENCES

Cette activité a été donnée pour la première fois en tant qu'exercice de rattrapage pour le calcul de poids. Le choix de Superman venait surtout du calcul du poids sur un autre astre que la Terre ; à part la Lune, les élèves ont beaucoup de mal à se projeter et à comprendre l'utilité du calcul du poids sur Mars ou Jupiter...

Par la suite j'ai intégré une question supplémentaire concernant la hauteur des sauts de superman... ce qui a pu être mis en relation avec les « bonds » des astronautes sur la Lune.

En général cette activité est plutôt bien reçue par les élèves, le contexte de « super héros » joue un rôle d'écran de fumée et certains élèves récalcitrants se sont pris au jeu. Il a été toutefois parfois nécessaire de reformuler la seconde question en demandant explicitement de calculer et comparer les poids.

Le temps donné aux élèves était d'environ 25 min, l'activité d'approfondissement est proposée aux élèves ayant validé les compétences sur le calcul littéral ou les plus rapides.

SUPPORT(S) D'ACTIVITÉ

Doc. 1 : Superman et la gravitation

Dès sa naissance, en juin 1938, se posa le problème de l'origine des pouvoirs de notre héros [...]. Vers la fin des années 1940, les textes décrivent le peuple de Krypton comme des humains plutôt ordinaires et cherchèrent l'origine des pouvoirs de Superman dans la physique. [...] Ses capacités surhumaines évoluèrent au fil de ses aventures et les premiers pouvoirs dont il fut doté semblent aujourd'hui bien modestes. [...]

Pour commencer, intéressons-nous aux origines de Superman, et plus particulièrement à sa planète de naissance, Krypton. Il s'agit d'un problème d'importance car, d'après les textes, c'est dans la différence de gravité entre Krypton et la Terre que réside la source des pouvoirs de l'Homme d'Acier. [...]

Au XVIII^{ème} siècle, Isaac Newton a découvert que deux corps massifs s'attirent avec une force proportionnelle au produit de leur masse et inversement proportionnelle au carré de leur distance. Cette loi universelle de la gravitation régit le mouvement des planètes et explique pourquoi la Terre nous retient à sa surface. En effet, notre sensation de pesanteur est la conséquence de la force gravitationnelle que la Terre exerce sur notre corps. Si la Terre était plus massive, cette sensation serait plus forte. [...]

Supposons que, sur Krypton, Superman ait eu des performances proches de celles d'un athlète humain sur la Terre. Ses capacités physiques lui permettraient donc de franchir 7 mètres en longueur et 2 mètres en hauteur. Ses performances terrestres seront nettement plus impressionnantes d'un facteur égal au rapport entre la gravité kryptonienne et la gravité terrestre. [...] L'intensité de la pesanteur à la surface de Krypton est à peu près 30 fois supérieure à celle de la Terre. [...] Un être humain transporté sur Krypton aurait l'impression de peser comme un rhinocéros sur Terre.

Roland Lehoucq, *D'où viennent les pouvoirs de Superman ? Physique ordinaire d'un super héros*, EDP Sciences, 2003



CONSIGNES DONNÉES À L'ÉLÈVE

1. Dans le paragraphe sur Newton, il est écrit « la Terre nous retient à sa surface » : précise l'acteur et le receveur de cette force ?
2. Pourquoi peut-on parler d'interaction dans le cas des forces gravitationnelles ?
3. Est-ce une action (force) à distance ou de contact ?
4. Dans la situation ci-dessous, représente la force exercée par la Terre sur Superman.



5. La valeur de la force de gravitation est-elle proportionnelle à d , d^2 ou $1/d^2$? Quelle phrase dans le texte permet de répondre à cette question ?
6. Comment la valeur de cette force varie-t-elle lorsque la distance entre les corps augmente ? Lorsqu'elle diminue ?
7. D'après le texte, de quelles autres grandeurs la force gravitationnelle qui s'exerce entre deux corps dépend-elle ?
8. Parmi les trois relations littérales suivantes, quelle est celle qui correspond aux données du texte, sachant que la valeur de la force gravitationnelle F est aussi proportionnelle à la constante gravitationnelle G m_A et m_B sont les masses (en kilogramme) respectives des deux corps,

$$F(A/B) = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2} \quad F(A/B) = G \times m_A \times m_B \times d^2 \quad F(A/B) = G \times \frac{d^2}{m_A \times m_B}$$

d est la distance (en mètre) qui sépare les centres des deux corps
 $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ la constante gravitationnelle

REPÈRES POUR L'ÉVALUATION

Correction possible :

1. L'acteur est la Terre et le receveur la personne qui est attirée.
2. C'est une interaction car la personne agit sur la Terre avec la même intensité.
3. C'est une action à distance, car elle agit même lorsque nous ne touchons pas le sol.
4. RAS
5. $1/d^2$, "inversement proportionnelle au carré de leur distance"
6. Si la distance augmente, la valeur de la force diminue, et inversement.
7. La force dépend aussi des masses des corps en interaction.
8. RAS

Critères de réussite :

Cycle 4

Compétences travaillées	Critère de réussite correspondant au niveau 4 (objectif dépassé)
Passer d'une forme de langage à une autre	L'élève est capable d'utiliser les expressions « proportionnelle » et « inversement proportionnelle » pour retrouver une expression littérale. L'élève choisit l'expression correcte de la force gravitationnelle

Seconde

Domaine de Compétences évaluées	Critère de réussite correspondant au niveau A
S'approprier (APP) Trouver des informations dans un texte	L'élève trouve la phrase sur la distance L'élève trouve la bonne expression littérale
Analyser (ANA) S'appuyer sur ses connaissances Déduire des relations littérales	L'élève utilise correctement ses connaissances sur les interactions L'élève interprète correctement l'influence de la distance entre les corps L'élève sait représenter une interaction par un vecteur force

Niveau A : les indicateurs choisis apparaissent dans leur (quasi)totalité

Niveau B : les indicateurs choisis apparaissent partiellement

Niveau C : les indicateurs choisis apparaissent de manière insuffisante

Niveau D : les indicateurs choisis ne sont pas présents

RETOUR D'EXPERIENCES

Cette activité a été imaginée suite aux problèmes et besoins rencontrés lors de nos activités respectives.

SUPPORT(S) D'ACTIVITÉ

Doc. 1 : Superman et la gravitation

Dès sa naissance, en juin 1938, se posa le problème de l'origine des pouvoirs de notre héros [...]. Vers la fin des années 1940, les textes décrivent le peuple de Krypton comme des humains plutôt ordinaires et cherchèrent l'origine des pouvoirs de Superman dans la physique. [...] Ses capacités surhumaines évoluèrent au fil de ses aventures et les premiers pouvoirs dont il fut doté semblent aujourd'hui bien modestes. [...]

Pour commencer, intéressons-nous aux origines de Superman, et plus particulièrement à sa planète de naissance, Krypton. Il s'agit d'un problème d'importance car, d'après les textes, c'est dans la différence de gravité entre Krypton et la Terre que réside la source des pouvoirs de l'Homme d'Acier. [...]

Au XVIIIème siècle, Isaac Newton a découvert que deux corps massifs s'attirent avec une force proportionnelle au produit de leur masse et inversement proportionnelle au carré de leur distance. Cette loi universelle de la gravitation régit le mouvement des planètes et explique pourquoi la Terre nous retient à sa surface. En effet, notre sensation de pesanteur est la conséquence de la force gravitationnelle que la Terre exerce sur notre corps. Si la Terre était plus massive, cette sensation serait plus forte. [...]

Supposons que, sur Krypton, Superman ait eu des performances proches de celles d'un athlète humain sur la Terre. Ses capacités physiques lui permettraient donc de franchir 7 mètres en longueur et 2 mètres en hauteur. Ses performances terrestres seront nettement plus impressionnantes d'un facteur égal au rapport entre la gravité kryptonienne et la gravité terrestre. [...] L'intensité de la pesanteur à la surface de Krypton est à peu près 30 fois supérieure à celle de la Terre. [...] Un être humain transporté sur Krypton aurait l'impression de peser comme un rhinocéros sur Terre.

Roland Lehoucq, *D'où viennent les pouvoirs de Superman ? Physique ordinaire d'un super héros*, EDP Sciences, 2003



CONSIGNES DONNÉES À L'ÉLÈVE

Activité 1 : l'interaction gravitationnelle

1. D'après le texte, de quelles grandeurs physiques la force gravitationnelle qui s'exerce entre deux corps dépend-elle ?
2. Comment la valeur de cette force varie-t-elle lorsque la distance entre les corps augmente ? Lorsqu'elle diminue ?
3. Traduis la phrase du texte par une expression littérale de la force « F_G » de gravitation, en précisant la signification de chaque terme utilisé et son unité. Attention, cette force est également proportionnelle à la constante de gravitation universelle notée « G ».

NB : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

4. Cette expression littérale confirme-t-elle la dernière phrase du paragraphe 3 ?

Activité 2 : Pourquoi superman peut-il voler ?

Objectif : Vérifier les informations des deux dernières phrases du texte, et expliquer si Superman peut réellement voler...

Consignes :

- Rappeler les relations littérales des valeurs du poids de Superman sur Krypton et sur Terre.
- Faire un croquis montrant Superman posé sur Krypton et indiquant la distance entre le centre de Krypton et superman.
- Rédiger la relation qui traduit le lien entre la valeur du poids de Superman sur Krypton, et la force de gravitation exercée par Krypton sur Superman, en utilisant l'expression de l'activité 1.
- Faire de même pour Superman sur Terre.
- Dédire les relations littérales de l'intensité de pesanteur sur Krypton (g_K), puis de celle de la Terre (g_T).
- répondre à l'objectif.

Données :

- rayon de la Terre : $R_T = 6371 \text{ km}$
- masse de la Terre : $m_T = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- rayon de Krypton : $R_K = 191130 \text{ km}$
- masse de Krypton : $m_K = 1,66 \cdot 10^{29} \text{ kg}$
- masse rhinocéros blanc : $m_r = 2,30 \text{ t}$
- masse moyenne homme en France : $m_h = 77,1 \text{ kg}$

Correction possible :

Activité 1 :

1. Elle dépend des masses des deux corps en interaction et de la distance entre les corps.
2. Si la distance augmente, la valeur diminue. Si la distance diminue, elle augmente.
3. Expression littérale de la force.
4. D'après la relation, la valeur de la force est proportionnelle au produit des masses : si la masse de la Terre était plus élevée, la valeur serait par conséquent plus élevée.

Activité 2 :

- Sur Krypton : $P_{\text{superman K}} = m_{\text{superman}} \times g_K$ Sur Terre : $P_{\text{superman T}} = m_{\text{superman}} \times g_T$
- Le croquis doit montrer que la distance est R_K
- La valeur du poids est égale à la valeur de la force d'interaction entre Krypton et Superman donc

$$P_{\text{superman K}} = F_{GK} \quad \text{ainsi} \quad m_{\text{superman}} \times g_K = G \times (m_{\text{superman}} \times m_K) / R_K^2$$
- On a donc $m_{\text{superman}} \times g_T = G \times (m_{\text{superman}} \times m_T) / R_T^2$
- $g_K = (G \times m_K) / R_K^2$ et $g_T = (G \times m_T) / R_T^2$
- On doit alors vérifier que :
 - L'intensité de la pesanteur à la surface de Krypton est à peu près 30 fois supérieure à celle de la Terre.
 L'application numérique donne $g_K / g_T = 30,7$
 On peut valider cette affirmation
 - Un être humain transporté sur Krypton aurait l'impression de peser comme un rhinocéros sur Terre.
 $P_{\text{humain}} = m_h \times g_K = 77,1 \times 30,7 = 2,37 \text{ t}$ (avec 3 chiffres significatifs)
 On peut valider l'affirmation
 - Superman peut-il voler ?
 L'interaction étant 30 fois moindre sur Terre, superman peut faire des bonds de $7 \times 30,7 = 214 \text{ m}$ de long et $2 \times 30,7 = 61,4 \text{ m}$
 Superman peut donc faire des bonds énormes, mais on ne peut pas considérer qu'il peut voler.

Critères de réussite :

Domaine de Compétences évaluées	Critère de réussite correspondant au niveau A
S'approprier (APP) - Trouver des informations dans un texte - Identifier ou reformuler un problème	L'élève trouve les grandeurs dans le texte. L'élève se sert de "l'expression inversement proportionnelle à la distance" L'élève aboutit à l'expression littérale.
Réaliser (REA) - Utiliser l'outil mathématique - Réaliser des calculs.	L'élève exprime l'égalité entre valeur de poids, et valeur de force gravitationnelle. L'élève trouve l'expression littérale du rapport des intensités de pesanteur. L'élève converti correctement les distances en m. L'application numérique est effectuée correctement.
Valider (VAL) - Interpréter un résultat conclure, s'assurer que l'on répond à la question posée, argumenter - Vérifier la pertinence du résultat, le confronter au résultat attendu, exercer un esprit critique	L'élève explique que la distance diminue si la force augmente L'élève confirme que la masse de la Terre influence la valeur de la force L'élève valide le "30 fois supérieure" et "peser comme un rhinocéros" L'élève invalide le fait que Superman puisse voler

Niveau A : les indicateurs choisis apparaissent dans leur (quasi)totalité

Niveau B : les indicateurs choisis apparaissent partiellement

Niveau C : les indicateurs choisis apparaissent de manière insuffisante

Niveau D : les indicateurs choisis ne sont pas présents

RETOUR D'EXPERIENCES

- L'activité a été réalisée sur une séance de TP, en 1h30, avec des groupes de 16 à 18 élèves. La durée est adaptée.
- Dans l'ensemble, l'activité 1 est bien réussie, après des coups de pouce pour l'expression littérale (que veut dire "proportionnelle au produit des masses", "inversement proportionnelle à"...).
- Lors de l'activité 2, dès que les expressions littérales se complexifient, il faut circuler sans cesse entre les rangs pour pointer les erreurs.
- Il a fallu donner un coup de pouce pour traduire "l'intensité est 30 fois supérieure" par un rapport des intensités de pesanteur. Le rapport de 2 fractions pose aussi problème (diviser par une fraction revient à multiplier par son inverse).
- L'application numérique pose des problèmes récurrents : bonne utilisation de la calculatrice (puissances de 10, parenthèses, carrés...) et conversions des km en m. Sans parler des erreurs de frappe...
- C'est cependant une activité qui arrive après de nombreux calculs sur les rayons des atomes, la charge des noyaux, et cela fait une piqûre de rappel bienvenue pour montrer l'importance de la rigueur dans la démarche de calcul.