

# *Si Galilée avait eu un smartphone...*



## *Concours C.Génial 2015/2016 Collège Saint-Exupéry de Perpignan*



*Lisa Liagre, Cassandra Mussard,  
Fanny Picamal, Gaëtan Kervarec, Kévin Roldan*

*Encadrés par M. Vandermarlière, sciences physiques*

## Résumé :

Nous sommes au XXI<sup>ème</sup>S et pourtant il y a toujours des gens persuadés que le Soleil tourne autour de la Terre : c'est effrayant !!! Nous nous sommes donc fixé comme objectif de prouver que la Terre tourne sur elle-même. Pour cela nous avons adopté une technique originale : détecter les variations de gravité selon la latitude. Nous avons utilisé un moyen moderne et surprenant : le smartphone ! Notre premier travail a été de vérifier que l'accéléromètre des smartphones était assez sensible et fiable pour mesurer la gravité. Puis nous avons réalisé une application android, téléchargeable par tout le monde afin de donner un côté planétaire à notre projet. Toutes les mesures faites de part le monde sont alors centralisées et traitées automatiquement pour tracer le graphique représentant les valeurs de la gravité en fonction de la latitude. Cet aspect de notre projet est le plus spectaculaire et est, nous l'espérons, un bon moyen de faire réfléchir les gens qui sont encore sceptiques sur la rotation de la Terre sur elle-même. Les adeptes du géocentrisme n'ont qu'à tester notre app !

## I) Le choix du sujet :



Dans cette séquence du jeu « *Qui veut gagner des millions* », un candidat pense que le Soleil tourne autour de la Terre. Il suit l'avis du public qui se trompe à 56% !!!

S'ils se trompent de la sorte, c'est qu'encore de nos jours des gens se font avoir par le mouvement apparent du Soleil : on a l'impression qu'il tourne autour de nous alors qu'en réalité on le voit se déplacer dans le ciel en raison de la rotation de la Terre sur elle-même !

Cela rejoint un sondage fait par l'union européenne en 2005 intitulé « *Les Européens, la science et la technologie* ». On peut y lire que 30% des européens sont persuadés que la Terre est fixe !

Au XXI<sup>ème</sup> Siècle c'est effrayant ! Alors ignorance ou obscurantisme dangereux ?

Quoi qu'il en soit, cela nous a fait nous interroger sur la façon dont on peut prouver que la Terre tourne sur elle-même. Un peu comme Galilée qui a tenté à son époque d'apporter des preuves expérimentales de la théorie héliocentrique de Copernic...

Nous aurions pu réaliser un pendule de Foucault, mais nous avons eu envie de contrer un des arguments des adeptes du géocentrisme qui est que si la Terre tournait, on le sentirait. Or, il existe bien un moyen de le sentir ! En effet, la gravité ressentie sur Terre change selon la latitude en raison de la rotation de la Terre sur elle-même. Et puisque notre but est avant tout de s'adresser au 56% du public de « *Qui veut gagner des millions* », choisissons une façon moderne et percutante de le faire : utilisons les capteurs d'un smartphone !!!

Programmons une application android pour un smartphone. Son capteur appelé accéléromètre peut mesurer la gravité. Puis envoyons-le en Guyane pour voir si la gravité y est vraiment plus faible !

Et nous avons même eu une autre idée : faire une autre application qui serait cette fois téléchargée par le plus de monde possible de part le monde. Chaque utilisateur fait une mesure de gravité et de sa latitude. Ces mesures sont alors envoyées et traitées automatiquement pour tracer le graphique représentant la gravité en fonction de la latitude. Ce moyen qui fait appel à la participation de tous, est un bon moyen de communication pour s'adresser au plus grand nombre. Et peut-être grâce à ça de toucher tous les adeptes des théories d'Aristote !

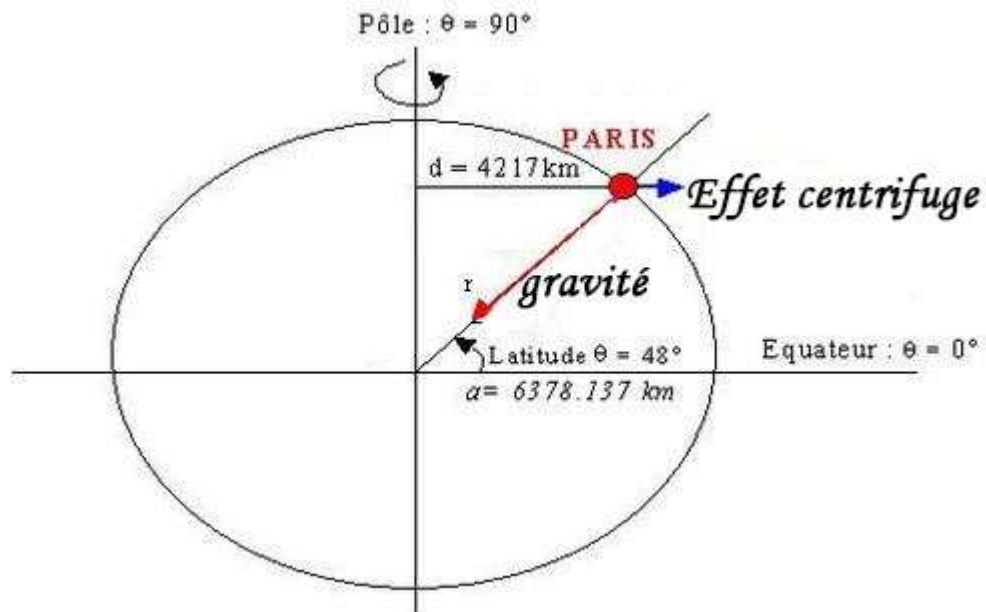
**Alors, si Galilée avait eu un smartphone... aurait-il pu prouver que la Terre tourne sur elle-même ?**

## II) Pourquoi g change selon la latitude :

Tout d'abord c'est à cause de l'effet centrifuge. Quand on tourne, comme sur un manège on a tendance à être éjecté. Cet effet centrifuge que l'on ressent dépend de 2 paramètres :

- **La vitesse de rotation**, plus ça tourne vite, plus on ressent l'effet. Sur Terre, la vitesse de rotation est la même partout évidemment. On fait tous un tour en 24H. C'est donc l'autre paramètre qui joue.

- **La distance qui nous sépare de l'axe de rotation.** Aux pôles, on est sur l'axe de rotation de la Terre, on ne ressent pas l'effet. Plus on s'en éloigne, plus on est loin de l'axe de rotation : on ressent de plus en plus l'effet !



Sur cette image, on lit que la distance qui sépare Paris de l'axe de rotation est de 4217km. Sur l'équateur, cette distance passe à 6378km !

Donc à l'équateur on ressent plus la force centrifuge qu'à Paris car on est plus loin de l'axe de rotation !

Mais il y a autre chose : comme la Terre tourne sur elle-même, elle se déforme !!! La Terre, c'est une mince croûte solide avec en-dessous quelque chose de plutôt « mou » d'un point de vue géologique (le manteau). Elle se comporte donc comme un ballon rempli d'eau que l'on fait tourner très vite. Cette vidéo illustre très bien ce phénomène :

<https://www.youtube.com/watch?v=FRqCF3WStfU>



La Terre est un peu aplatie aux pôles ! Elle est un peu elliptique (espèce d'ovale...) Et donc le rayon à l'équateur est encore plus grand que si la Terre était ronde !!!

Tout se passe donc comme si on était un peu éloigné du centre de la Terre et que l'on ressentait moins son effet d'attraction. Un peu comme si on était en altitude. Au sommet d'une montagne on est plus loin du centre de la Terre, on ressent moins les effets de la gravité

**Bref, essayons de faire simple et retenons :**

- **L'effet centrifuge est plus important à l'équateur que chez nous car on est plus loin de l'axe de rotation. Cela nous « allège » un peu.**
- **De plus, la Terre se déforme à cause de sa rotation sur elle-même. Du coup, on est plus loin du centre de la terre et on ressent moins la gravité.**

### Conclusion :

Effet centrifuge plus grand + gravité moins forte = gravité ressentie plus faible à l'équateur que chez nous.

Et tout ça à cause de la rotation de la Terre sur elle-même !

## III) Comment mesurer la gravité :

Pendant longtemps, la valeur de la gravité était mesurée à l'aide d'un pendule :



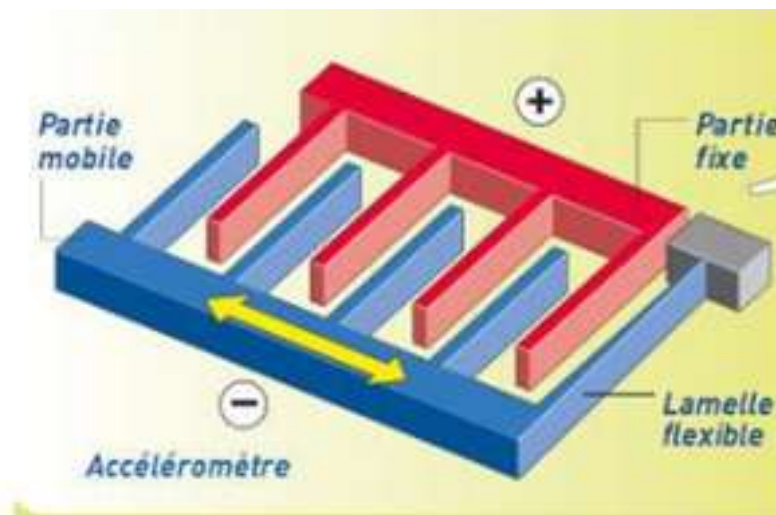
On accroche une masse à l'extrémité d'un fil ou d'une tige. On la fait se balancer et on mesure le temps qu'elle met pour faire un aller et retour. L'expérience montre que ce temps, appelé période, ne dépend que de deux paramètres : la longueur du pendule et la valeur de la gravité. Si le fil est plus long, la période est plus longue (il faut plus de temps pour faire un aller et retour). Si la valeur de la gravité est plus forte, la période est plus petite (il faut moins de temps pour faire un aller et retour). En étudiant très précisément

les mouvements d'un pendule, on peut donc déterminer précisément la valeur de  $g$ . En 1632, Jean Richer s'est aperçu que son pendule allait moins vite en Guyane qu'à Paris par exemple, c'est un peu la version moderne de cette expérience que nous allons tenter de faire.

Remarque : Aussi surprenant que cela puisse paraître, la période ne dépend pas de la masse que l'on accroche ! Lourd ou léger, cela ne change rien le pendule va aussi vite ! C'est Galilée qui l'a constaté le premier.

On peut aussi utiliser un système de ressort avec une masse suspendue. C'est un peu ce que l'on a fait en classe de troisième lors d'un TP montrant la relation entre le poids et la masse.

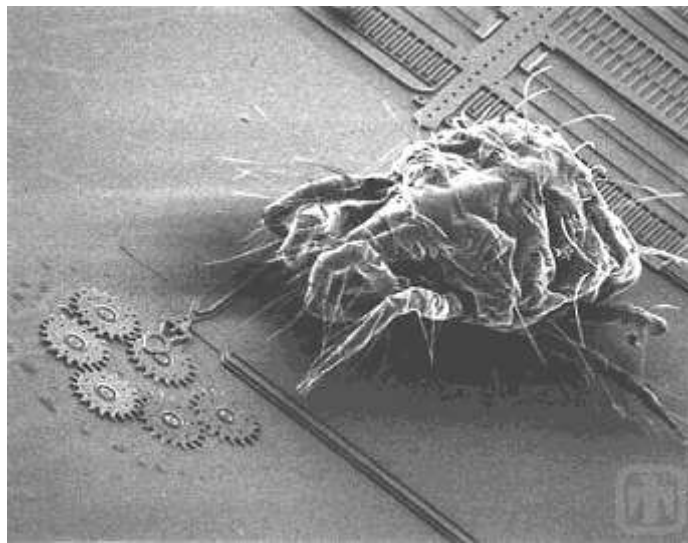
C'est aussi ce qui se passe dans les capteurs électroniques des smartphones :



Ci-dessus, le schéma de principe d'un capteur à technologie MEMS (= microsystèmes électromécaniques). Deux « peignes » sont placés l'un en face de l'autre. Il y en a un qui est fixe et l'autre qui



peut bouger, il est flexible, un peu comme un ressort. Lors d'une accélération ou sous l'action de la gravité, le peigne mobile se déplace un peu. Chacun d'entre eux est relié à un système électrique qui va détecter ce mouvement. La valeur du signal électrique envoyé dépend directement de la position des peignes et donc de la valeur de l'accélération ou de la gravité mesurée. Ces capteurs MEMS sont extrêmement petits, en voici pour preuve l'image d'un "capteur MEMS" à côté d'un acarien !



En pratique, ces capteurs font plusieurs dizaines de mesures par seconde. A chaque fois la mesure sera différente. En effet, chaque petite vibration sera mesurée et changera la valeur. De plus nos capteurs sont bon marché et ne sont pas des monstres de précisions. Il y a en plus des erreurs à cause du capteur lui-même : la température peut modifier un peu les résultats, les peignes qui bougent ne reviennent pas toujours parfaitement en place etc... Cela se joue à pas grand-chose mais cela suffit pour nous obliger à faire une moyenne de toutes nos mesures afin de minimiser toutes ces erreurs.

Et au fait, un accéléromètre mesure une accélération comme son nom l'indique. C'est-à-dire un changement de vitesse. Mais nous on essaye de mesurer la valeur de la gravité... Est-ce pareil ? Eh bien oui ! Ressentir l'effet de la gravité ou l'effet d'une accélération revient au même. C'est Einstein qui l'a formulé le premier grâce à une expérience de pensée appelé « l'ascenseur d'Einstein ». On appelle ça le principe d'équivalence. C'est un des points de départ de sa théorie de la relativité. Cela nous dépasse un peu bien sûr, mais nous faisons confiance à Albert !

## IV) L'environnement de programmation appinventor :

La base de notre travail a été d'apprendre à programmer pour les systèmes android. Plus facile à dire qu'à faire ! Les langages de programmation sont souvent très compliqués à comprendre et à apprendre.

Heureusement, nous avons trouvé un environnement de programmation adapté à nos besoins : **appinventor**.

D'abord initié par Google, ce système de programmation pour android est maintenant développé par le très prestigieux MIT (Massachusetts Institut of Technology).

Vous pouvez le trouver ici :

<http://appinventor.mit.edu/explore/>



Au lieu d'enchaîner des lignes de codes à la syntaxe compliquée, il suffit d'imbriquer des blocs colorés les uns dans les autres. Chaque bloc correspond à un ordre que l'on souhaite donner au programme.

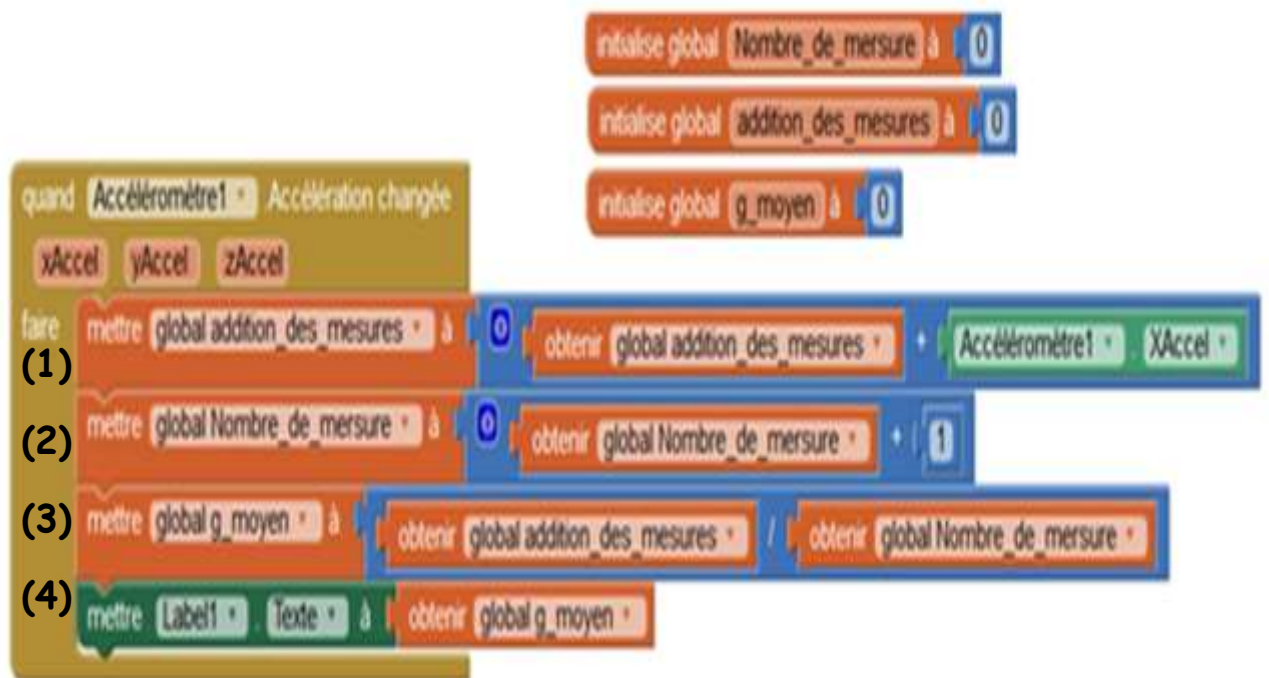
Voici un exemple de nos réalisations, notre premier programme pour mesurer la gravité. Il a depuis été grandement amélioré mais il illustre bien la logique de programmation qui nous a guidés.

### Principe général :

Prenons un exemple simple pour commencer. Quand un élève veut calculer sa moyenne, il a y 3 **variables**. Variable est le mot « informatique » pour dire « **truc qui change que je dois connaître** »

Ces variables sont : la somme de toutes les notes de l'élève, le nombre de notes qu'il a eu et la moyenne qu'il obtient. Il pourra alors diviser la somme de ses notes par le nombre de ses notes, ce sera égal à sa moyenne.

Dans notre cas c'est un peu pareil : on a besoin de connaître la somme de toutes les mesures qui ont été faites par le capteur, le nombre de mesures qu'il a faite et la moyenne que ça donne. Dans les trois blocs tout en haut on **déclare les variables** : cela veut dire que l'on dit au programme le nom des variables et combien elles valent au début.



**Première ligne (1) :** ajoute la nouvelle valeur mesurée par le capteur à la somme des mesures déjà faites. Au début bien sûr, la valeur de la somme est zéro...

**Deuxième ligne (2),** On veut savoir combien de mesures on été faites. On en aura besoin pour calculer la moyenne Donc, On ajoute 1 au nombre de valeurs déjà faites, puisque l'on vient d'en refaire une. Au tout début, le nombre de mesure est zéro...

**Troisième ligne (3),** on calcule la moyenne, la somme de toutes nos mesures est divisée par le nombre de mesures.

**Quatrième ligne (4),** On affiche la moyenne obtenue.

Et tout recommence depuis le début, nouvelle mesure qui s'additionne à la somme précédente. On ajoute 1 au nombre de mesures déjà faites, on calcule la moyenne, on affiche la moyenne et on recommence encore et encore...

## Explication approfondie de la première ligne = traduction du « langage appinventor » :



On demande de mettre à jour l'addition      On demande de reprendre l'ancien résultat de l'addition      On ajoute la nouvelle mesure du capteur

On demande de **mettre à jour l'addition**, pour cela le programme **reprend l'ancienne valeur** et **ajoute la nouvelle**.

### Exemple concret :

Le capteur fait trois mesures à la suite : 9,8    10,2    et    9,9 ça donne :



addition = 0 + 9,8  
nombre de mesures = 0 + 1  
moyenne = 9,8/1  
le programme affiche 9,8



addition = 9,8 + 10,2  
nombre de mesures = 1+1  
moyenne = 20/2  
le programme affiche 10



addition = 20 + 9,9  
nombre de mesures = 2 + 1  
moyenne = 29,9/3  
le programme affiche 9,96

Et ainsi de suite !

En pratique au lieu d'écrire trois fois les mêmes blocs, on utilise **une boucle** : quand on arrive en bas du gros bloc marron appelé « *quand accélération changée* », le programme remonte en haut et recommence tout. Un seul bloc suffit donc car il est utilisé en boucle encore et encore et encore... ! Cela ne s'arrêtera que si on donne un autre ordre au programme.

## V) Les mesures de g en métropole et en Guyane :

Après plusieurs semaines de travail nous sommes enfin parvenus à écrire un programme qui mesure la gravité. Nous avons choisis de le mettre dans une tablette. Nous avons pris une tablette plutôt qu'un smartphone car c'était plus pratique à manipuler et que c'est le seul appareil mobile que nous avons pu nous procurer pour la périlleuse expédition en Guyane.

Nous avons alors soigneusement étudié son comportement pour vérifier si les mesures qu'elle fait sont fiables, c'est-à-dire reproductibles. Pour notre plus grand plaisir, il semble bien que oui ! Moyennant quelques précautions, il nous a été possible d'obtenir des mesures reproductibles à plus ou moins 5/1000 de  $m/s^2$  ce qui nous semble très bon ! Et c'est suffisant en tout cas pour détecter les différences de gravité entre Perpignan ( $g=9,804 m/s^2$ ) et Cayenne ( $g=9,781 m/s^2$ )

Pour obtenir une telle précision il faut :

- Que la température de la tablette soit entre 20°C et 25°C
- Qu'elle soit bien chargée
- Qu'elle soit parfaitement horizontale

Une fois ces trois conditions remplies, le programme lance 1000 mesures de gravité dont la moyenne sera faite et affichée en temps réelle.

Par chance, les parents de l'une d'entre nous ont des amis en Guyane ! Il a été possible de leur confier notre tablette. Après quelques milliers de kilomètre de voyage au-dessus de l'océan. Ils ont fait des mesures de  $g$ . La valeur obtenue est de  $g_{\text{Cayenne}} = 9,779 \text{ m/s}^2$ , la valeur théorique étant de 9,781. Soit 2/1000 d'erreur seulement !!! C'est excellent !!!

Ainsi, nous pouvons déjà conclure que oui, il est possible de mesurer précisément la gravité grâce à l'accéléromètre d'un appareil mobile. Que c'est un instrument qui peut réellement être utilisé pour faire des mesures en physique !

**Et d'ores et déjà nous pouvons conclure qu'il est bel et bien possible de détecter un des effets de la rotation de la Terre sur elle-même avec une tablette ! La Terre tourne et nous l'avons senti !!!**

Mais nous avons aussi souhaité aller plus loin dans nos travaux et tenter une approche encore plus originale. Quelque chose d'encore plus novateur et qui pourrait encore plus frapper les esprits. Pour cela nous avons réalisé une autre application android pour smartphone : E-Gravity.

## **VI) E-Gravity :**

Fort de notre premier succès avec les mesures de  $g$  en Guyane, nous avons souhaité donner une autre dimension à notre projet. Au lieu d'utiliser un appareil que l'on fait voyager, nous avons eu envie d'utiliser des dizaines d'appareils qui ne voyagent pas. En effet, presque tout le monde a un smartphone, pourquoi ne pas s'en servir ?



L'idée est simple : faisons une application android qui peut être téléchargée sur le playstore. Faisons en sorte qu'elle soit le plus largement possible téléchargée de part le monde. Chaque utilisateur fait alors une mesure de g et le programme enregistre en même temps sa latitude. Tout est alors envoyé et traité automatiquement pour tracer le graphique représentant g en fonction de la latitude.

Bien qu'un peu plus hasardeuse concernant les résultats, cette approche a aussi de gros avantages :

- Elle frappe les esprits ! Son côté participatif et communicatif peut toucher des gens au-delà du cercle des scientifiques. C'est parfait pour s'adresser au 56% des gens de l'émission de télé. C'est eux que l'on souhaite convaincre, ne l'oublions pas !
- C'est une expérience très enrichissante de programmation.
- Recueillir des dizaines de données venant d'un peu partout est notre façon à nous de faire du « big data », la science du XXI<sup>ème</sup> S.
- Il y a un aspect planétaire passionnant.
- Cela va nous obliger à utiliser l'anglais.

Bien sûr, tous les téléphones sont différents. Ils sont tous calibrés différemment. Mais notre pari est que globalement, le parc des smartphones est assez homogène. Il n'y a que deux ou trois marques qui tiennent le haut du pavé. Et on peut penser que les capteurs qu'ils contiennent sont tous plus ou moins les mêmes. Ainsi en multipliant les mesures, on devrait pouvoir faire en sorte que les erreurs se compensent et obtenir au final quelque chose d'assez fiable.

Après des semaines de programmations supplémentaire nous sommes arrivé coder une application dont nous sommes fière. Elle est



maintenant téléchargeable gratuitement sur le playstore. Elle s'appelle **E-Gravity**.

Pour la faire télécharger par le plus grand nombre de personnes possible, nous avons envoyé des mails à presque tous les lycées français de l'étranger, aux alliances françaises, aux consulats...

Nous avons aussi créé une page Facebook que vous pouvez consulter... et partager !

<https://www.facebook.com/E-Gravity-601427833370478/>



Et les résultats commencent à arriver ! 3 semaines après sa mise en ligne, nous avons une cinquantaine de mesures qui viennent d'un peu partout :

- Singapour, Guyane, USA, Norvège, Groenland, Canada, La Réunion, Maroc, Australie, Argentine, Indonésie, Italie, Allemagne, Luxembourg, Suisse, Espagne...

Nous venons même de recevoir un soutien de poids : l'agence spatiale européenne, l'ESA, vient d'écrire un article nous concernant afin de nous aider !!!

Voici l'article :

<http://blogs.esa.int/communication/2016/03/11/if-galileo-had-a-smartphone/>

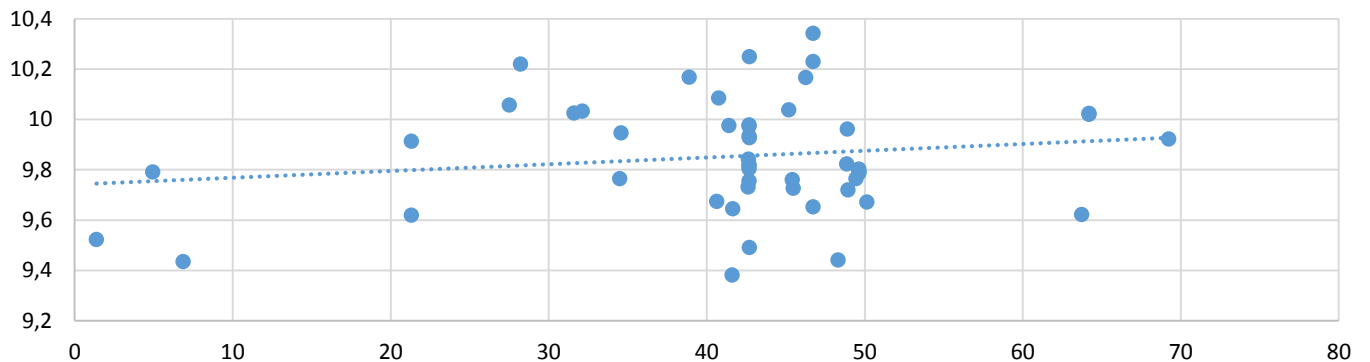


Voici la carte qui montre d'où elles proviennent, chaque point rouge montre la position d'un utilisateur :



Pour l'instant il est encore trop tôt pour pouvoir vraiment tirer des conclusions. Nous continuons d'essayer de contacter le plus de gens possible à travers le monde pour augmenter le nombre de mesures. Cependant, la première tendance qui se dégage est encourageante ! Les mesures sont assez dispersées mais quand on les analyse il semble que la tendance générale est une diminution de  $g$  au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'équateur !

Evolution de g en fonction de la latitude (graphique provisoire)



Espérons que cette tendance se renforce dans les semaines qui viennent !

D'ailleurs, si vous souhaitez nous venir en aide, il vous suffit de télécharger notre app et si possible d'en parler autour de vous. Si vous avez des connaissances à l'étranger, c'est encore mieux !

Cela ne prend qu'une minute !

La voici :

[https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai\\_a\\_nodisator.egravity&hl=fr](https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_a_nodisator.egravity&hl=fr)



## **VII) Conclusion :**

Ainsi, nous avons prouvé grâce à nos expériences que l'on peut détecter les variations de la gravité selon la latitude. Le fait d'utiliser les capteurs d'un smartphone ou d'une tablette pour y parvenir est quelque chose d'originale qui n'avait jamais été tenté par personne... Et ça marche !

Ce projet nous a permis d'approfondir de nombreux domaines : informatique, physique, anglais...

Et surtout, nous avons réussi à atteindre notre but : prouver que la Terre tourne sur elle-même ! Nous avons vraiment pu en ressentir les effets !

Pour aller plus loin, nous allons maintenant rédiger un article pour un magazine d'astronomie afin de relater notre aventure. En effet, Janet Borg, rédactrice en chef du magazine *L'Astronomie* nous a assuré de son soutien et publiera notre article !

Grâce à notre projet, nous espérons que certaines personnes qui se trompaient encore sont maintenant convaincus que c'est bel et bien la Terre qui tourne autour du Soleil et non l'inverse !

Si Galilée avait eu un smartphone, nous sommes maintenant convaincus qu'il aurait réussi à prouver que la terre tourne sur elle-même !!!