

Impact event !

Fabrice Mourau¹ et Denis Guicheteau²
 Juin 2019

Résumé :

Cet article s'inscrit dans le cadre du volet éducatif de la mission InSight. Il s'adresse aux enseignants collègue qui veulent proposer des activités pédagogiques en lien avec l'exploration martienne. Nous présentons un travail réalisé avec une imprimante 3D et un microcontrôleur de type Arduino. L'objet créé est un démonstrateur destiné aux professeurs de SVT en lycée, impliqués dans la partie « Enseignement scientifique » du nouveau programme de Première. Nous décrivons comment créer un instrument permettant de modéliser les effets de la chute d'un corps sur un substrat. L'objectif est de simuler un impact de météorite et d'en étudier les effets en fonction des caractéristiques physiques du substrat, de la hauteur de chute et de la masse de l'impacteur. Un module électronique commandé par microcontrôleur permet de quantifier l'intensité des vibrations générées par le choc.

Mots clés : Éducation ; Sismologie ; Mission InSight ; Arduino

I. Le volet éducatif de la mission InSight

La mission InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) cherche à comprendre la structure interne de Mars à partir d'une station géophysique posée avec succès à la surface de la planète le 26 novembre 2018 (figure 1). Elle est le fruit d'un partenariat entre les agences spatiales américaines (NASA) et européennes (ESA). Côté Français, L'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) a développé l'instrument principal de la mission avec l'appui du CNES : le sismomètre SEIS.

La cellule éducation du laboratoire Géoazur (Université Côte d'Azur) est riche d'une vingtaine d'années d'expérience dans l'utilisation pédagogique et la didactisation des données sismiques (Sismos à l'école) puis environnementales *lato sensu* (Observatoire EDUMED) au sein de réseaux partenariaux enseignement/recherche. Elle coordonne le travail d'un groupe d'enseignants européens du second degré autour du volet éducatif de la mission INSIGHT. Les activités pédagogiques produites sont valorisées et partagées avec un large public de professeurs et d'élèves grâce à un site web dédié³, hébergé par l'Université Côte d'Azur. Le collège Pierre de Coubertin du Luc (Var) appartient à la fois aux dispositifs EDUMED et INSIGHT. Le travail présenté dans cet article est l'un de nombreux projets STEM (Science Technology Engineering Mathematics) que les enseignants de l'établissement développent à destination de leurs élèves, tout en les partageant au sein des deux réseaux.

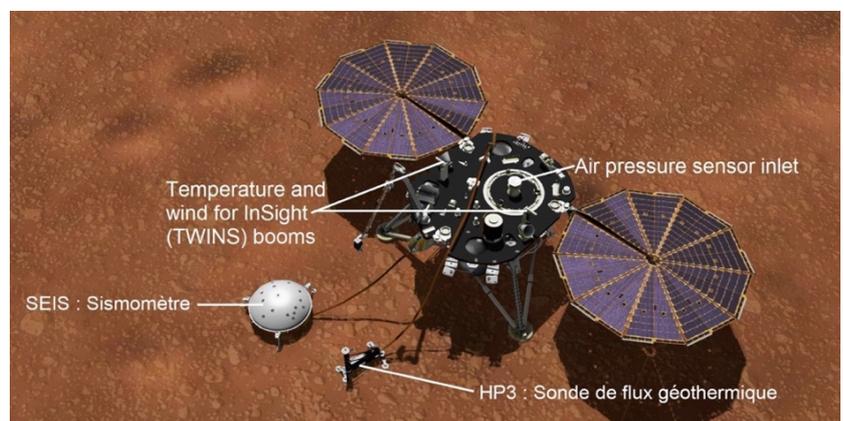


Figure 1 : Le lander insight porte une station géophysique avec des instruments météorologiques, sismologiques et d'étude de flux géothermique (Source : Insight education/NASA)

1 : Professeur de sciences de la vie et de la Terre et 2 : Professeur de mathématiques au collège Pierre de Coubertin, Éducation Nationale
 3 : <http://insight.oca.eu>

II. Impact event : enseigner les chutes de météorite.

Le principal objectif de la mission InSight réside dans l'étude de la composition et de l'épaisseur des couches profondes de la planète Mars. Les données issues des premiers sols⁴ de la mission montrent que, sans tectonique des plaques, l'activité sismique de la planète est faible. Or, Seul un séisme relativement puissant peut générer des vibrations mesurables et ayant parcouru un rai sismique exploitable pour caractériser les interfaces profondes (figure 2). Les chercheurs qui suivent la mission ont anticipé cette situation et se sont préparés à attendre un autre événement, non tectonique, capable de générer des vibrations utiles : un impact de météorite !

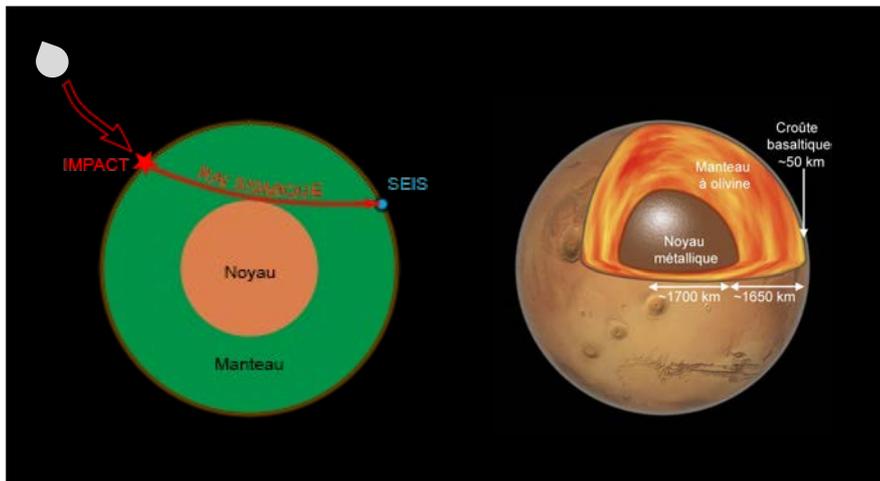


Figure 2 : Pour comprendre la structure interne de Mars, le rai sismique mesuré doit traverser les couches profondes de la planète (modifié du TPE Azémar M., Giovinazzo E. et Mohovic A., 2019)

L'étude transversale de l'aléa « chute de météorite » propose une entrée intéressante dans les programmes du second degré. Elle s'inscrit bien en SVT au cycle 4, les thèmes enseignés sont le système solaire, le risque en lien avec un phénomène naturel, l'histoire de la Terre et l'évolution de la biosphère. Des exemples d'activités pour le cycle 4 sont fournis en annexe. Au lycée, la conception de l'impacteur à l'aide d'un microcontrôleur s'inscrit dans le nouveau programme d'enseignement scientifique de Première ainsi que l'étude de la vitesse de propagation des ondes de volume à travers différentes roches : l'impacteur remplace ici le coup de marteau ! En mathématiques au cycle 4, les parties du programme abordées sont :

- i. Le volume de l'impacteur (volume de cylindres, boules, prismes droits).
- ii. La dépendance de deux grandeurs (représentations graphiques, images et antécédents, non linéarité de la fonction...).
- iii. Les statistiques (si l'expérience est menée plusieurs fois, on peut calculer moyenne, médiane et étendue).
- iv. Les grandeurs composées (en calculant la vitesse moyenne de l'impacteur en fonction de la hauteur).

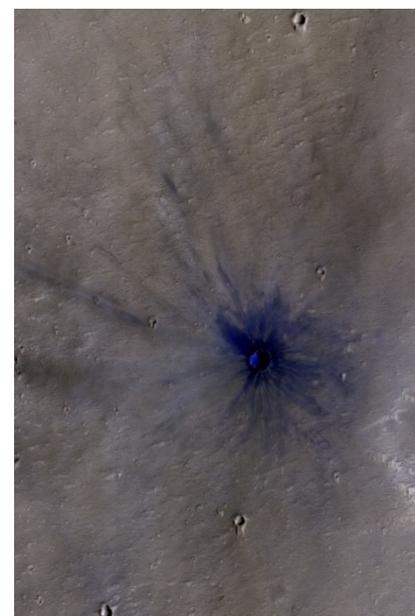


Figure 3 : Ce cratère martien a été photographié par la sonde MRO. L'impact s'est produit entre février et juillet 2005. C'est ce type d'événement qui est attendu par les responsables de la mission INSIGHT (image NASA, site JPL/Hirise)

4 : Le temps martien est mesuré en jours martiens dits « Sols »

III. Conception de l'impacteur

L'impacteur peut être fabriqué en amont par l'enseignant, puis utilisé par les élèves dans le cadre des cours de SVT, de sciences physiques, de technologie ou de mathématiques. La conception de l'instrument peut aussi être réalisée en projet. L'utilisation d'une sonde conçue avec une carte Arduino® s'intègre dans la partie « Enseignement scientifique » du nouveau programme de première. L'ensemble du code et des pièces 3D sont gratuitement mis à disposition sous licence *Creative Commons* autorisant le partage et la modification dans les mêmes conditions avec citation de la source. Toute monétisation de cette propriété intellectuelle est strictement interdite par les auteurs.

A. Cahier des charges

L'instrument a été conçu pour être facilement reproductible et adaptable. Il intègre des transducteurs et du matériel électronique à la fois basiques et peu onéreux. Les éléments structuraux non imprimés sont des profilés en acier et en PVC achetés en magasin de bricolage. Nous avons créé un module spécifique « Meteor » dans le logiciel RISSC, développé par *David Ambrois*. Les fichiers 3D imprimables, le logiciel ainsi que le code Arduino seront gratuitement mis à disposition sur les sites *Edumed* et *Insight education*.

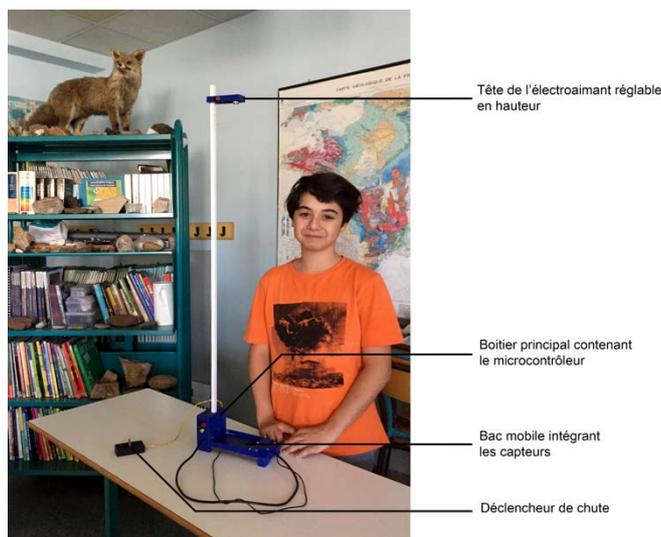


Figure 4 : l'impacteur monté. Pour être fonctionnel, il devra être branché à un micro-ordinateur

B. Principe de fonctionnement :

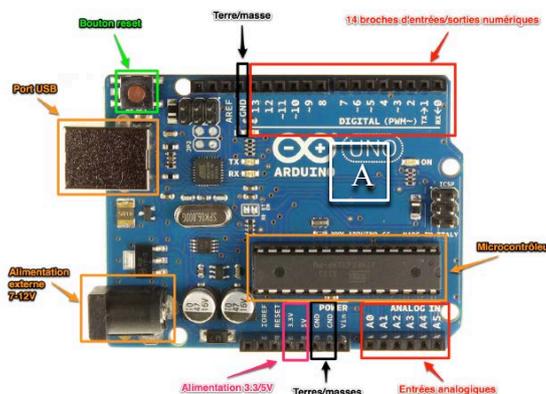
Un électroaimant libère un impacteur métallique d'une hauteur paramétrable. Le « météore » s'écrase dans un bac instrumenté avec un simple élément piézoélectrique, utilisé comme sismomètre. Le bac peut être rempli avec différents substrats. L'acquisition du signal issu du piézomètre est réalisée par une des 5 entrées analogique de la carte Arduino. Le signal numérisé avec une valeur numérique entière comprise entre 0 et 1023 counts⁵ peut être directement affiché sur le moniteur série ou sur une version *ad hoc* du logiciel RISSC⁶ développé par l'observatoire Edumed. Enfin, le fichier de données peut directement être lu et analysé avec un logiciel tableur.

C. Liste du matériel nécessaire (hors imprimante 3D)

- Carte Arduino Uno[®]
- Capteur piézo
- Résistance
- Un module électroaimant
- Des conducteurs
- Un interrupteur poussoir
- Un boîtier pour l'interrupteur
- Vis à tôle, L= 13mm et D = 2,8 mm



Figure 5 : une carte Arduino Uno (A) (F. Genevey et JP Dulex ; Arduino à l'école) et le module électroaimant (B)



5 : Le count est une unité électronique arbitraire produite par le numériseur de la carte Arduino et correspondant ici à 5/1024^{ème} de Volts.
6: RISSC: Recorder Interface for Sensors at School - <http://edumed.unice.fr/fr/contents/news/tools-lab/RISSC>

D. Le montage électronique

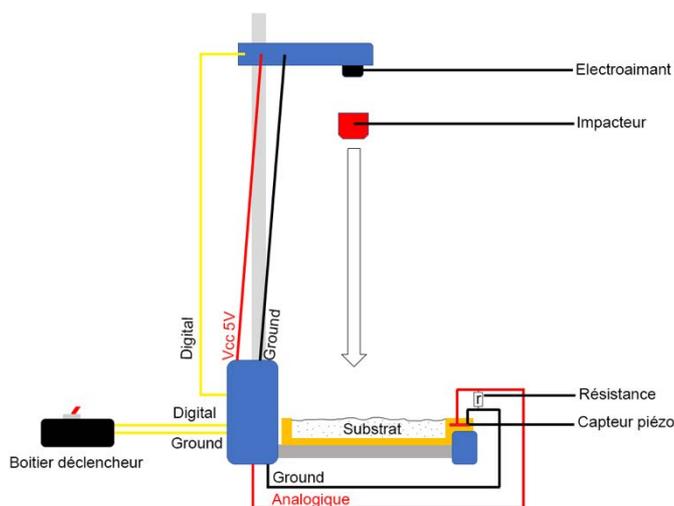


Figure 6 : Trois modules différents sont connectés à la carte Arduino. Le bouton déclencheur et la voie de commande de l'électroaimant sont reliés à la terre et à 2 pins Digitaux. Le capteur est relié à la terre et à un pin analogique. Sur cette voie, une résistance a été placée en parallèle pour brider les courants trop puissants pouvant être créés par effet piézoélectrique et altérer le microcontrôleur.

Pour réaliser ce montage, on connecte 3 modules à la carte Arduino Uno.

A : L'électroaimant est alimenté en 5 Volts, il est commandé par un fil sur le Pin digital 13. Ce pin sera utilisé en écriture binaire, il enverra soit l'état « HIGH » ou « 1 » et l'électroaimant sera activé. Dans le cas contraire, « LOW » ou « 0 », l'électroaimant sera éteint ce qui déclenche la chute de l'impacteur.

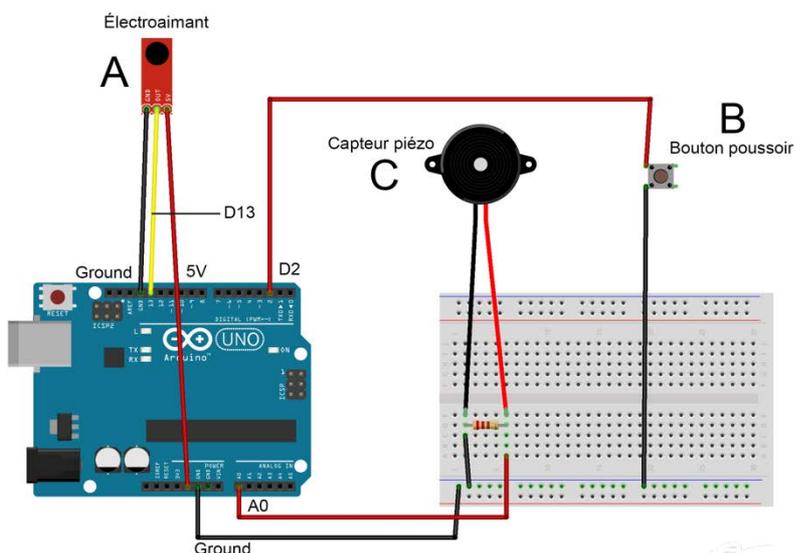


Figure 7 : Schéma de câblage de la carte Arduino (réalisé à partir du logiciel Fritzing)

B : Le bouton poussoir est relié en lecture sur le Pin digital 3. La carte Arduino lira l'état du bouton (0 ou 1) et commandera en conséquence l'électroaimant via le Pin 13. Afin de simplifier le montage électronique, l'interrupteur sera monté en *Pull-up*⁷ dans le code logiciel uniquement.

C : Le capteur piézoélectrique est relié à la terre et au port analogique A0 en lecture. La carte Arduino utilise son convertisseur analogique-numérique pour lire les tensions produites par effet piézoélectrique. Il va échantillonner le signal reçu et le transformer en valeurs comprises entre 0 et 1023 (*d'après Genevey et al. ; 2018*). Afin de protéger la carte, une résistance de 1MΩ sera branchée en parallèle avec le capteur. Elle pourrait d'ailleurs être doublée par une diode *zener* pour éviter définitivement toute surtension délétère (*Eskimon et al. ; 2019*).

⁷ : De nombreux parasites électriques peuvent induire en erreur la simple lecture de l'état d'un interrupteur. Pour les supprimer, on met le système en quelque sorte « à la masse » par un montage dit de *Pull-up*. Le code Arduino prévoit un traitement logiciel qui permet de s'affranchir de ce montage en utilisant des résistances pré intégrées à la carte. C'est la solution que nous avons choisie.

E. Montage de l'instrument

Notre impacteur a été conçu en 3D à l'aide du logiciel libre FreeCAD⁸. Les fichiers au format STL directement imprimables sont mis à la disposition de tous sur les sites *Edumed* et *Insight Education*. Le kit comprend 6 pièces imprimables auxquelles il faudra ajouter des vis, un profilé en acier de section carrée et de 12mm de côté et un profilé plastique en U de même section (12mm), utilisé comme mat vertical pour soutenir le module de l'électroaimant. Le tube vertical est simplement glissé dans le module principal alors que les profilés en acier sont collés à l'aide d'une résine binaire.

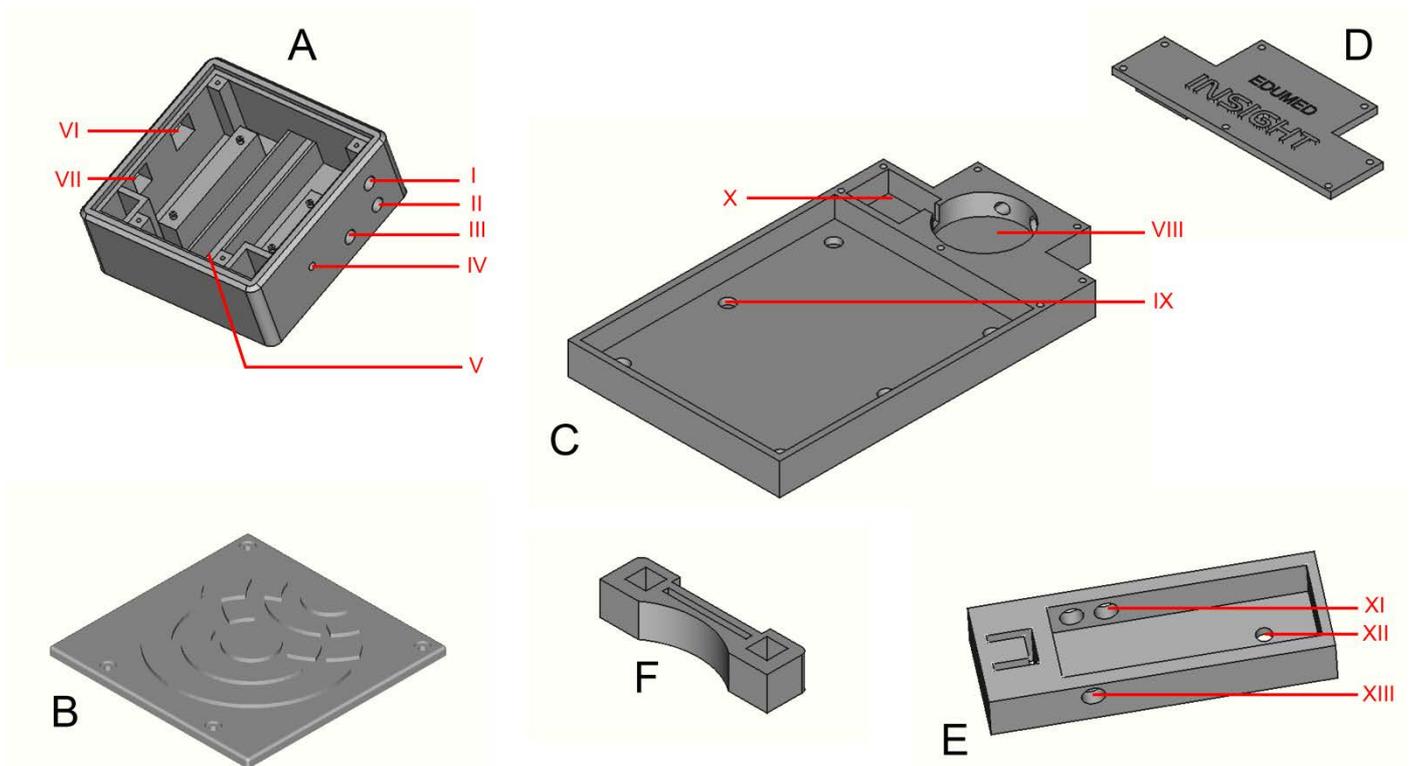


Figure 8 : Plan de montage

A : Boîtier de l'Arduino

- I : Emplacement borne Ground électroaimant
- II : Emplacement borne 5 Volts électroaimant
- III : Emplacement borne Digital 13 électroaimant
- IV : Passage de fils pour interrupteur (Ground et Digital 2)
- V : sous le boîtier : passage de fil pour le piézo (Ground et A0)
- VI : Emplacement borne USB
- VII : Emplacement borne alimentation

B : Couvercle du boîtier Arduino (4 Vis)

C : Bac de réception de l'impacteur

- VIII : Emplacement Capteur piézo

IX : emplacement pour 6 aimants néodyme (diamètre 5mm) qui assurent la stabilité du bac sur les pieds.

X : Emplacement pour capteur accéléromètre⁹ en remplacement optionnel du capteur piézo.

D : Capot de protection des capteurs (7 vis).

Un morceau de mousse est placé entre le capot et le piézo pour plaquer le capteur contre le fond.

E : Support de l'électroaimant

- XI : Emplacements pour bornes Ground et 5 Volts
- XII : Passage de vis pour la fixation de l'électroaimant
- XIII : Emplacement pour borne « Digital 13 »

F : Embout des profilés

8 : FreeCAD est un logiciel libre de conception paramétrique assistée par ordinateur (CAD pour Computer Assisted Design). Il est soutenu par une communauté nombreuse et traduit partiellement en français. <https://www.freecadweb.org/?lang=fr/>

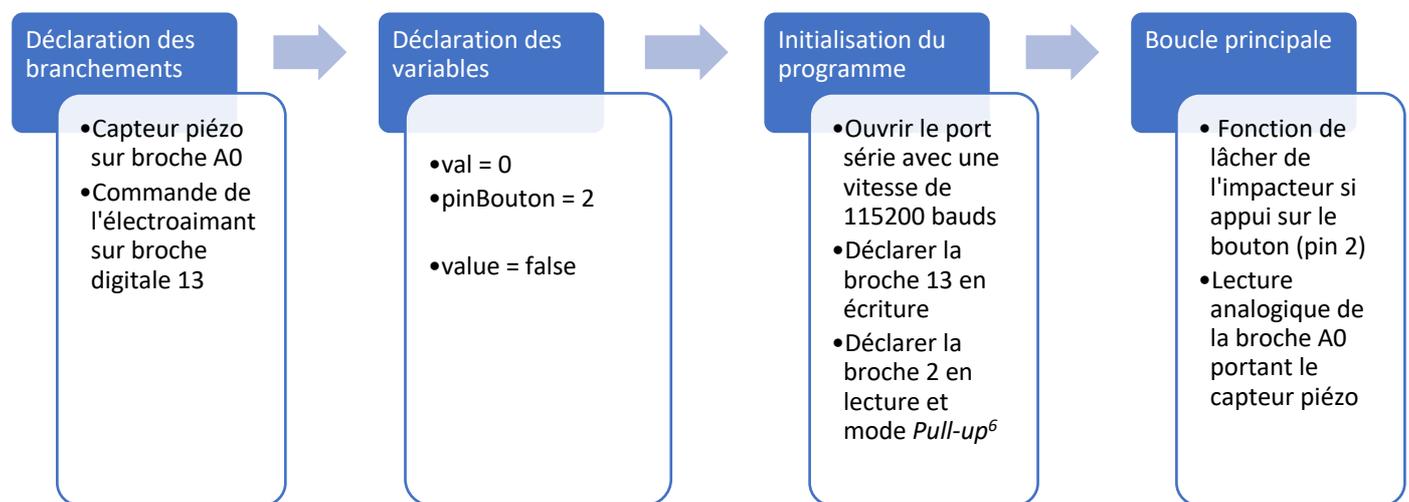
9 : Emplacement prévu pour un module ADXL345 sur 3 axes. On peut monter les 2 capteurs simultanément et les brancher sur le module Arduino. Le code fourni ne prend pas en compte l'accéléromètre. C'est à vous de l'écrire !

F : Programmation du microcontrôleur

Le code a été développé via le logiciel IDE (*Integrated Development Environment*) mis à disposition sur le site Arduino⁸. Nous présentons ici 2 versions qui peuvent être utilisées avec l'instrument et intégralement disponibles en Annexe (II et III).

1. La première peut être facilement codée par les élèves, on se contente de commander l'électroaimant, puis de lire les valeurs issues du capteur piézo sur le moniteur série. Les données peuvent être copiées et collées dans un tableur comme Libre office Calc ou Microsoft Excel.
2. La seconde version est conçue pour fonctionner directement avec le logiciel RISSC. Spécialement développée par l'observatoire Edumed, cette application permet une visualisation directe des courbes et un export possible des données en fichier CSV.

1/ Lecture directe via le moniteur série



2/ Visualisation à l'aide du logiciel RISSC (ajouts en vert)

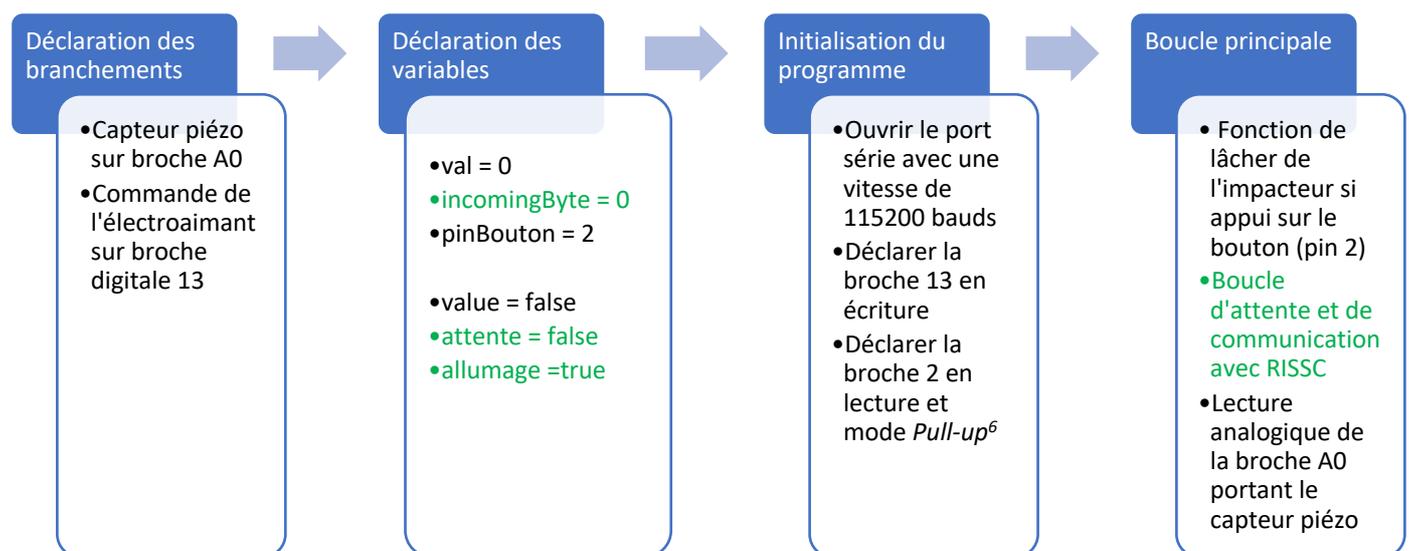
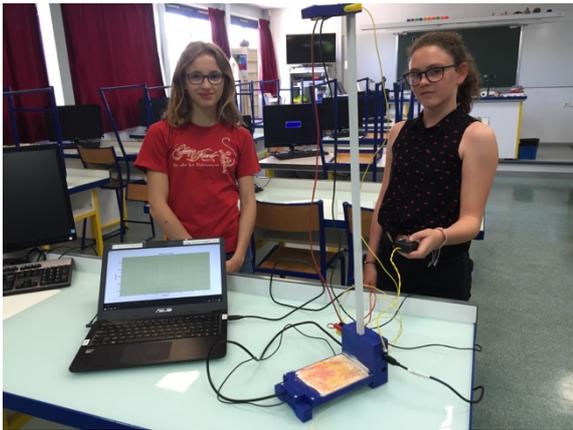


Figure 9 : diagrammes représentant les fonctions principales des deux versions du programme.

8 : <https://www.arduino.cc>

IV. Quelques exemples de mise en œuvre de l'instrument



Préparation de la mesure :

Le bac de réception est rempli de farine (figure 10). L'électroaimant est branché à l'aide des conducteurs et l'impacteur est relié à l'ordinateur. On lance le logiciel RISSC ou le moniteur série de l'application Arduino.

Figure 10 : Deux élèves se préparent à réaliser une série d'observations et de mesures à l'aide de l'impacteur.

A. Géomorphologie d'un cratère d'impact.

Pour réaliser cette observation, les élèves recouvrent la farine d'une ou plusieurs couches de poudres de craies colorées. Les élèves simulent un impact, puis identifient certains des éléments caractéristiques d'un cratère météoritique (figure 11). Le bac de réception de l'instrument est mobile, on peut l'incliner et tester différents angles d'incidence au moment de l'impact.

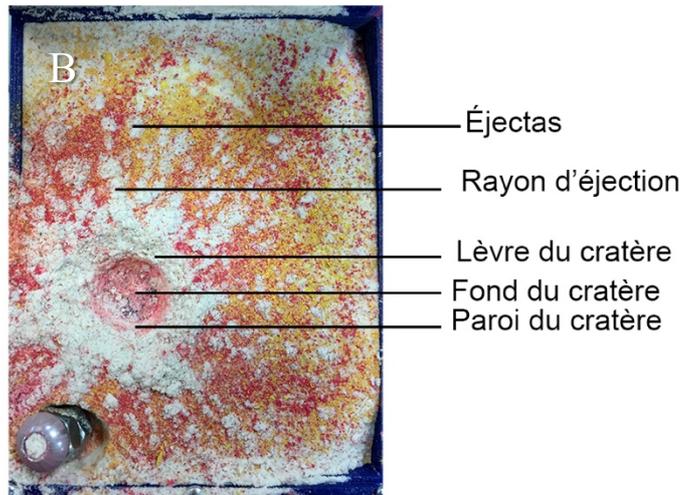
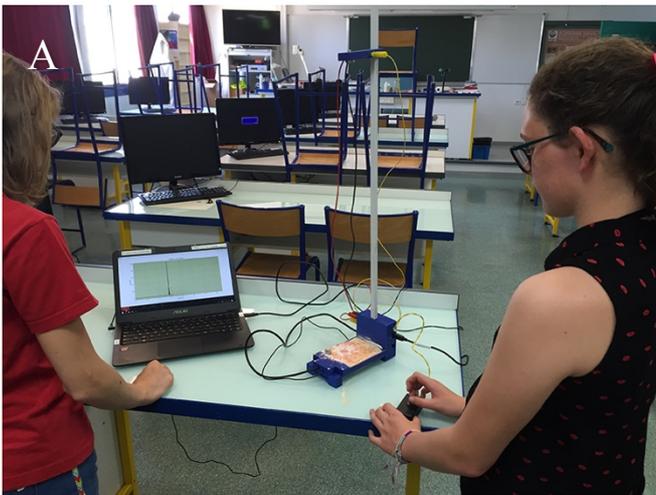


Figure 11 : Première manipulation avec l'impacteur : comprendre la morphologie du cratère d'impact. Les élèves comparent leur modèle (B) analogique avec la réalité (C) : un impact récent sur Mars photographié par la sonde MRO (Photo : NASA/JPL/Hirise). Ils constatent également qu'une vibration est enregistrée (A), elle apparaît dans l'interface du logiciel RISSC. À quoi correspond-elle ? Dans cette manipulation, on constate aussi que le météore a rebondi au fond du bac, ce phénomène est-il observé dans la réalité ?

B. Quantifier l'énergie libéré au moment de l'impact.

Les élèves de quatrième savent qu'une vibration sismique est causée par une libération d'énergie mécanique lors d'une rupture de la lithosphère. Qu'elle est l'énergie à l'origine des ondes sismiques mesurées après un impact ?

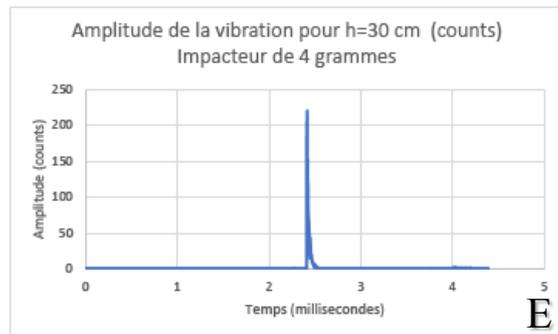
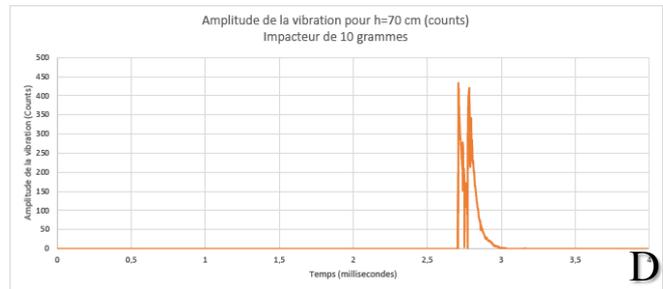
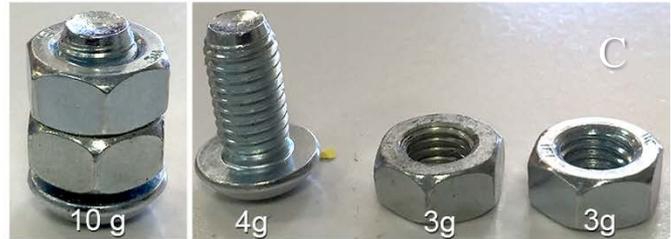
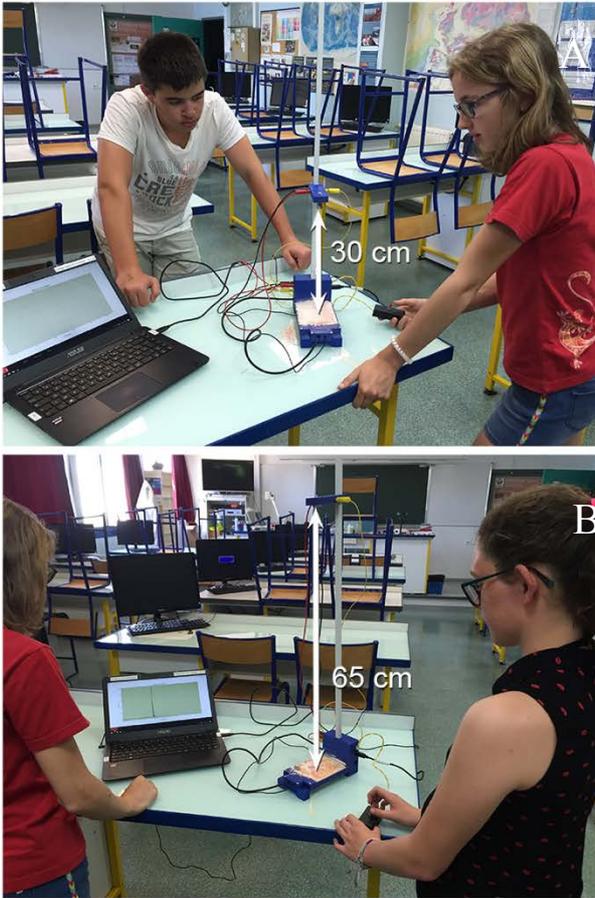
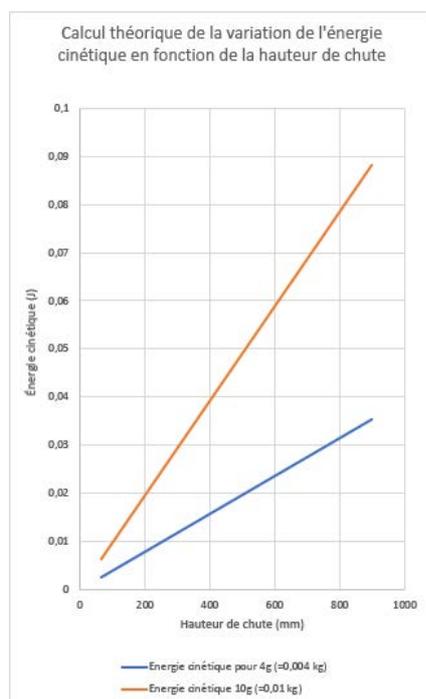
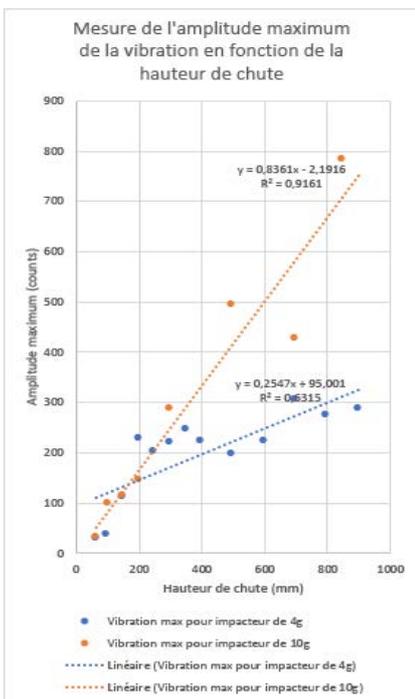


Figure 12 : Pour comprendre les énergies mises en jeu, on utilise le modèle en simulant des chutes de plusieurs hauteurs (A et B) avec des impacteur de masses différentes (C) mais avec un même profil d'impact. Les résultats sont traités sous forme graphique (D et E).



À chaque impact, on détermine l'amplitude maximum sur le « sismogramme ». Ces amplitudes sont reportées sur un diagramme en fonction de la hauteur de chute. On détermine ainsi que l'intensité de l'aléa « chute de météorite » /Impact event augmente avec la vitesse d'impact et la masse du météore (figure 13).

Figure 13 : L'amplitude maximum des vibrations de notre « séisme » augmente en même temps que la vitesse d'impact et la masse du météore. On note une bonne corrélation entre les mesures réalisées avec l'impacteur de 10 grammes et le calcul théorique d'énergie cinétique.

V. Discussion

La mission INSIGHT transpose à Mars une approche géophysique « classique » sur Terre, enseignée au collège et en classe de Première. Elle permet une mise en perspective du modèle PREM, un enseignement transversal des énergies et du risque en lien avec l'évolution de la biosphère. Elle constitue un incroyable facteur de motivation pour les élèves qui deviennent acteurs de l'exploration du système solaire ! Depuis juin 2019, cette dimension participative est encore renforcée grâce à l'accès aux données météo et sismo du lander⁹.

Dans un premier temps, la modélisation permet de relier les phénomènes physiques mis en jeu aux observations de la réalité sur plusieurs planètes et satellites (cf. annexe I). Ensuite, la conception de l'instrument et l'analyse des résultats expérimentaux engage une réflexion plus méthodologique sur la notion de modèle et ses limites intrinsèques (figure 14)

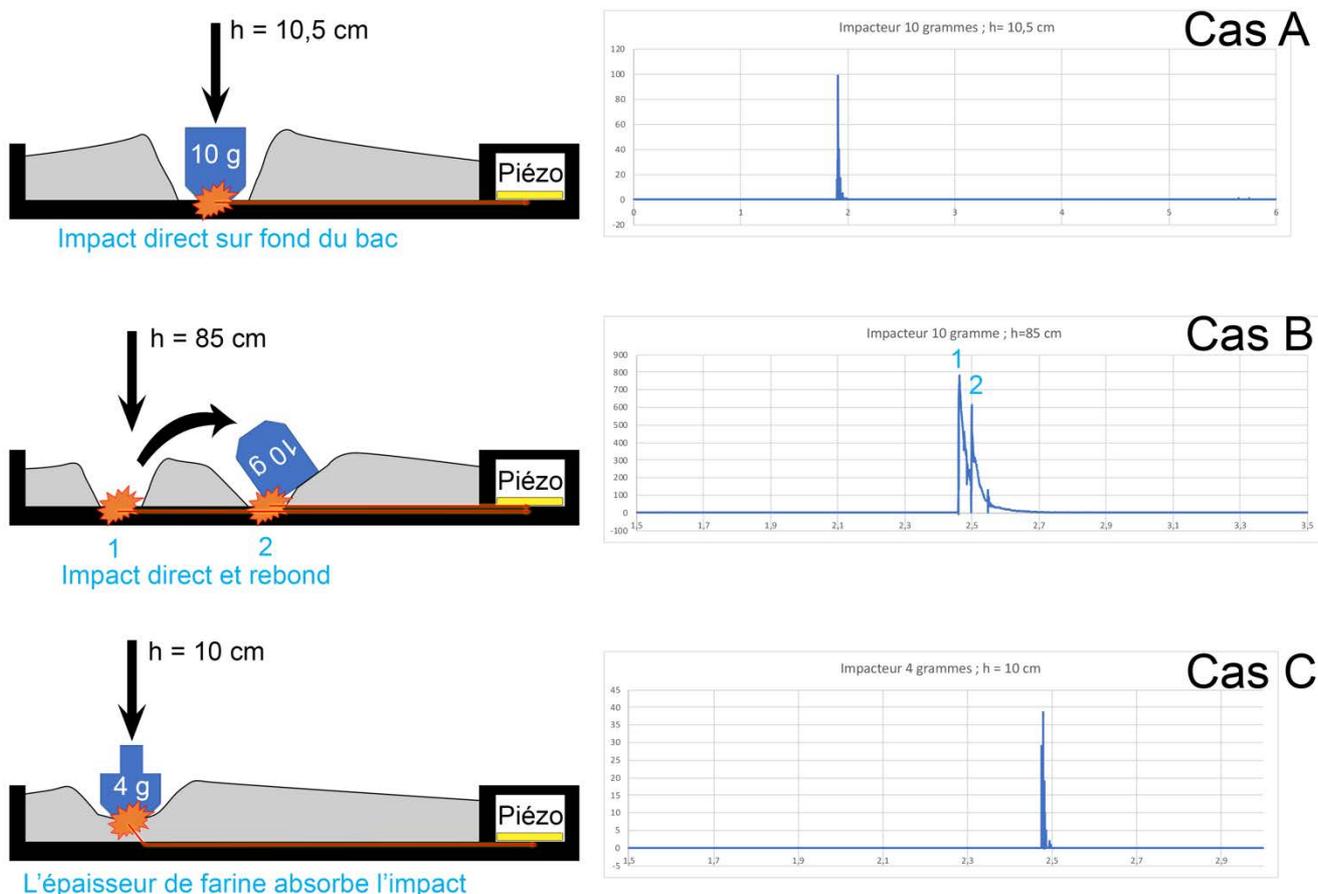


Figure 14 : Les 3 types de résultats que nous avons obtenus : (A) le météore traverse la farine et impacte directement le fond du bac ; (B) l'énergie de l'impact est tellement élevée que l'impacteur rebondit ; (C) la déformation plastique de la farine absorbe une grande partie de l'énergie cinétique et le météore ne touche pas le fond du bac.

Nous avons constaté une bonne corrélation entre les mesures impliquant un impacteur de 10 grammes et le calcul théorique de l'énergie cinétique (figure 13). À partir d'une certaine hauteur de chute, on enregistre systématiquement l'arrivée de 2 trains de vibrations distincts (figure 12D). Nous interprétons ces résultats par un rebond de l'impacteur contre le fond du bac de réception. Par contre, les expérimentations avec un impacteur de 4 grammes diffèrent plus du calcul théorique. Nous supposons que, dans ces cas-là, l'impacteur est fortement ralenti par la farine dont la déformation dissipe une grande partie de l'énergie cinétique.

VI. Perspectives



Figure 15 : le capteur HC-SR04 permet de construire facilement un télémètre à ultrason. Notre objectif est de l'intégrer au support de l'électroaimant afin d'avoir une mesure précise de la hauteur de chute.

L'analyse de nos premiers résultats suggère qu'il serait pertinent de recréer un bac de réception plus profond et de varier la nature du substrat de réception. Autre piste de développement, nous pensons apporter une modification au code Arduino afin d'identifier un T_0 au moment de lâcher l'impacteur. Il permettrait de mesurer un temps de chute et donc de calculer des vitesses. En remplaçant le bac par des barres de roches, on peut également démontrer des différences de vitesse de propagation et reproduire en partie les résultats attendus par la mission. Il est difficile de mesurer avec précision la hauteur de chute sur ce modèle. Il semble judicieux d'intégrer un télémètre à ultrason HC-SR04 (figure 15) et un afficheur LCD au support de l'électroaimant. Ce sera le travail que mèneront l'an prochain les élèves de quatrième du collège Pierre de Coubertin !

F. Mourau et D. Guicheteau

Remerciements : Jean-Luc Berenguer pour l'énergie qu'il réussit à nous transmettre, Benoit Gérossier pour nous avoir fait découvrir l'Arduino alors méconnu, Philippe Cosentino pour supporter et soutenir avec passion l'équipe des geeks de SVT.

Références

Azemard M., Giovinazzo E. et Mohovic A., 2019, Mission Insight, voyage au cœur d'une planète, mémoire de TPE, lycée Thomas Edison, Lorgues

BOEN spécial n°11 du 26 novembre 2015, Programmes d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2), du cycle de consolidation (cycle 3) et du cycle des approfondissements (cycle 4). Arrêté du 9-11-2015 - J.O. du 24-11-2015. Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale

BOEN spécial n°1 du 22 janvier 2019, Programme de l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre de la classe de seconde générale et technologique ; Programme d'enseignement de spécialité de sciences de la vie et de la Terre de la classe de première de la voie générale ; Programme d'enseignement scientifique de la classe de première de la voie générale arrêté du 17-1-2019 - J.O. du 20-1-2019. Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale

Eskimon, janvier 2019, Arduino : premiers pas en informatique embarquée. <https://eskimon.fr>

Exploring the Moon -- A Teacher's Guide with Activities, NASA EG-1997-10-116-HQ

Genevey F. et Dulex J.P., septembre 2018, Arduino à l'école : Cours pour l'apprentissage des bases de l'électronique et de la programmation sur arduino. <https://arduino.education>

Panning, Mark P. and Lognonné, Philippe and Bruce Banerdt, W.,... [et al.] Planned Products of the Mars Structure Service for the InSight Mission to Mars. (2017) Space Science Reviews, 211 (1-4). 611-650. ISSN 0038-6308

Salomon J.N. et Auly T., « Impacteurs et astroblèmes : essai de classification et approche géographique », Géomorphologie : relief, processus, environnement [En ligne], vol. 16 - n° 1 | 2010, mis en ligne le 01 avril 2012, consulté le 24 juin 2019. URL : <http://journals.openedition.org/geomorphologie/7866> ; DOI : 10.4000/geomorphologie.7866

Sitographie :

Insight education : <https://insight.oca.eu>
 Observatoire Edumed : <http://edumed.unice.fr/fr>
 Fritzing : <http://fritzing.org/home/>

Annexes

- I. Propositions d'activités au collège
- II. Code Arduino pour RIISC
- III. Code Arduino pour lecture directe du port série
- IV. Fiche « Impact craters » modifié d'après le doc. NASA

Annexe I : Propositions d'activités au collège/SVT/cycle IV

La leçon « Impact event » est prévue pour une durée de 5 heures d'enseignement. Elle se répartit en 5 séances d'environ 1h. Pour des raisons matérielles, le groupe classe est divisé en 5 groupes qui réaliseront les activités dans un ordre différent. Dans l'idéal, le travail se fait en ½ classe et par trinôme.

Séance	Titre/objectifs	Activités	Ressources
A	<p>Observation du réel : astéroïdes</p> <p>Le logiciel aide les élèves à se repérer mais la composition et la structure du système solaire sont normalement déjà connues. L'essentiel du travail est basé sur l'étude des missions d'exploration de <i>Bennu</i> par la NASA et de <i>Ryugu</i> par la JAXA et l'ESA .</p>	<p>Travail de recherche documentaire sur les astéroïdes dans le système solaire.</p> <p>→ Consigne : rédiger un document numérique formaté qui décrit les astéroïdes et la façon dont les agences spatiales les explorent.</p>	<p>Logiciel « système solaire » réalisé par <i>P. Cosentino</i> et hébergé par le site académique de Nice (https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/systeme-solaire/)</p> <p>Mission OSIRIS rEX : https://www.nasa.gov/osiris-rex</p> <p>Mission Hayabusa 2 : http://www.hayabusa2.jaxa.jp/en/</p> <p>https://mascot.cnes.fr/fr</p>
B	<p>Observation du réel : Cratères d'impact</p> <p>Le travail sur document permet dans un premier temps de définir la morphologie d'un cratère. Dans un second temps, les élèves devront rechercher dans une banque de données pour identifier des cratères sur la Terre. Ils devront remobiliser leurs connaissances de cinquième (géodynamique externe) pour comprendre les conséquences de l'érosion sur les cratères d'impact.</p>	<p>→ Consigne : trouver le cratère Aristarchus sur Google Earth « moon », légèrer le cratère sur la fiche fournie.</p> <p>Réaliser un schéma en coupe d'un cratère d'impact en utilisant les mots : Piton central, éjectas, sol, rayons, piton central, paroi et lèvres du cratère.</p> <p>Utiliser la banque de données <i>Earth Impact</i> pour identifier et observer deux points d'impact majeurs sur Terre.</p> <p>Pourquoi la plupart des cratères terriens sont-ils si peu visibles ?</p>	<p>Google Earth</p> <p>Impact craters teacher page: https://www.nasa.gov/pdf/180572main_ETM.Impact.Craters.pdf</p> <p>Earth impact database: http://www.passc.net/EarthImpactDatabase/New%20website_05-2018/Index.html</p>

Séance	Titre/objectifs	Activités	Ressources
C	<p>Le risque d'impact de météorites</p> <p>L'élève travaille ici sur la notion de risque qu'il a déjà abordé en cinquième (inondations ; mouvements gravitaires) et en quatrième (séismes, volcans). C'est une approche spiralaire car la définition du risque reste la même mais revue systématiquement, adaptée à un aléa variable et à une vulnérabilité différente.</p>	<p>→ Travail à partir de la vidéo du bolide de Tcheliabinsk + interprétation des évènements de Tunguska</p> <p>→ Activité construite autour de la pierre de l'Aigle (P. Thomas ; site planet-terre)</p>	<p>Earth impact database: http://www.passc.net/EarthImpactDatabase/New%20website_05-2018/Index.html</p> <p>https://www.youtube.com/watch?v=tOduIgHX9hk</p> <p>https://www.youtube.com/watch?v=JB2eoQfOGBA</p> <p>http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/FEL2017.xml</p> <p>https://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets/Images/FEL2017/activite/meteorite-L-Aigle.pdf</p>
D	<p>Ballades martiennes</p> <p>L'immersion en réalité virtuelle permet ici de réaliser un travail de planétologie comparée, finalement très proche du principe d'actualisme très enseigné en géosciences. On postule que des causes similaires ont produit des effets comparables. Ce travail permet</p>	<p>→ Utiliser la réalité virtuelle pour découvrir le terrain en immersion et faire de la planétologie comparée :</p> <p>a. le cratère Zumba et sa géomorphologie (parois, lèvres, fond, strates...)</p> <p>b. Un champ de barkhanes : proposer une direction majoritaire d'écoulement du vent sur la zone.</p> <p>c. Un glacier : identifier les éléments de géomorphologie : cirque, moraine, aire d'accumulation, aire d'ablation, seracs...</p>	<p>Application Oculus Go "Ballade martienne" créée par P. Cosentino à partir des fichiers « Hirise » : https://www.oculus.com/experiences/go/1983433131744314</p> <p>Site de l'instrument Hirise/orbiteur MRO : https://hirise.lpl.arizona.edu</p>

Séance	Titre/objectifs	Activités	Ressources
E	<p>Modélisation d'un impact.</p> <p>Modélisation d'une chute de météorite à l'aide de l'impacteur (1h). L'objectif est de comprendre les phénomènes observés sur Mars : exhumation des couches sédimentaires, éjectas, pic central... Importance de l'énergie cinétique.</p>	<p>→ Réaliser une série d'impacts avec des hauteurs différentes. Traiter les données sous forme de .CSV et tracer la courbe hauteur de chute/intensité maximale de la vibration. Pour 2 ou 3 masses différentes. Démontrer que la hauteur de chute (L'énergie cinétique à l'impact) est le facteur déterminant.</p> <p>→ Identifier sur le modèle les éléments de géomorphologie typiques d'un cratère d'impact.</p> <p>→ recréer un impact dans un liquide avec fond sableux (et ligne de côte si possible)</p> <p>→ Pour les plus grands : réaliser des impacts sur différents types de barres de roches et calculer la vitesse de propagation.</p>	<p>Le présent article !</p> <p>Impact craters teacher page : https://www.nasa.gov/pdf/180572main_ETM.Impact.Craters.pdf</p>

Annexe II : code Arduino pour utilisation avec RISSC

```

/*
 * Piézo sismo
 * pensé et réalisé par Denis Guicheteau et Fabrice Mourau
 * 2019
 * à utiliser avec Rissc d'edu med
 */

//déclaration des branchements
#define CAPTEUR_SUR_A A0 // broche détection piézo sur A0
#define BROCHE_ea 13 // Déclare la broche 13 sur laquelle est câblée l'electro aimant

// declaration des variables
int val = 0; // entrée lue sur le piézo
boolean value=false; //on utilise un booléen pour faire la boucle d'attente
boolean attente=false; //une variable pour attendre au démarrage afin que l'enregistrement commence
int incomingByte = 0; // c'est le point de départ du programme, lorsqu'on recoit un bytes, on commence
int pinBouton =2; //c'est le pin du bouton interrupteur
boolean allumage = true; // pour savoir si le bouton est pressé ou non. Par défaut l'allumage est à true ce qui veut dire que l'electro aimant fonctionne

void setup()
{
  Serial.begin(115200); // on va communiquer avec le PC
  // Configure la broche du piézo en sortie
  pinMode(BROCHE_ea, OUTPUT);
  pinMode(pinBouton,INPUT_PULLUP);
}

void loop()
{
  //si on a appuyé sur le bouton
  allumage=digitalRead(pinBouton);
  if (allumage)
  // eteint la prise del'electro aimant
  digitalWrite(BROCHE_ea,HIGH );
  else
  digitalWrite(BROCHE_ea,LOW );

  //boucle d'attente, on attend que l'utilisateur appuie sur la touche start
  while (!value){

  //chaque capteur à son numéro, quand on ne sait pas, on utilise le 8
  //pour nous c'est le 3 (pour le sismo)
  Serial.println(3);
  delay(50);
  // on attend le start qui déclenchera le lacher de bille
  while (Serial.available()){
    incomingByte = Serial.read();
    if (incomingByte!=-1){
      value = true;
      attente=true;
    }
  }
  }
  //la première fois que l'on passe ici, on attend que l'enregistrement commence
  if (attente) {
    delay(10000);
    attente=false;
  }

  // on mesure la tension de retour du piézo
  val = analogRead(CAPTEUR_SUR_A);
  // on écrit sur le port série la valeur en flottant (nombre à virgule)

  Serial.println((float)val);

}

```

Annexe III : code Arduino pour lecture directe sur le moniteur série

```
/*
 * Piézo sismo
 * pensé et réalisé par Denis Guicheteau et Fabrice Mourau
 * 2019
 * à utiliser avec Rissc d'edu med
 */

//déclaration des branchements
#define CAPTEUR_SUR_A A0 // broche détection piézo sur A0
#define BROCHE_ea 13 // Déclare la broche 13 sur laquelle est câblée l'electro aimant

// declaration des variables
int val = 0; // entrée lue sur le piézo
int pinBouton = 2; //c'est le pin du bouton interrupteur
boolean allumage = true; // pour savoir si le bouton est pressé ou non. Par défaut l'allumage est à true ce qui veut dire que l'electro aimant fonctionne

void setup()
{
  Serial.begin(115200); // on va communiquer avec le PC
  // Configure la broche du piézo en sortie
  pinMode(BROCHE_ea, OUTPUT);
  pinMode(pinBouton, INPUT_PULLUP);
}

void loop()
{
  //si on a appuyé sur le bouton
  allumage=digitalRead(pinBouton);
  if (allumage)
  // eteint la prise de l'electro aimant
  digitalWrite(BROCHE_ea,HIGH );
  else
  digitalWrite(BROCHE_ea,LOW );

  // on mesure la tension de retour du piézo
  val = analogRead(CAPTEUR_SUR_A);
  // on écrit sur le port série la valeur en flottant (nombre à virgule)

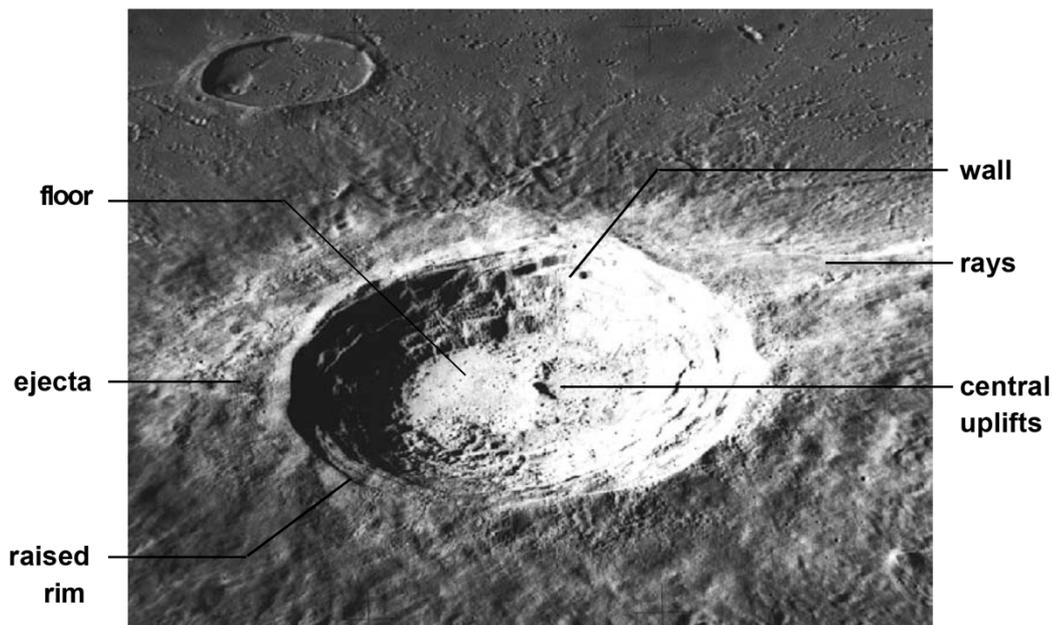
  Serial.println((float)val);
}
```

Annexe IV : Fiche d'étude des cratères lunaires (source : NASA)

Impact Craters

Aristarchus

Typical characteristics of a lunar impact crater are labeled on this photograph of Aristarchus, 42 km in diameter, located West of Mare Imbrium.



raised rim - rock thrown out of the crater and deposited as a ring-shaped pile of debris at the crater's edge during the explosion and excavation of an impact event.

floor - bowl shaped or flat, characteristically below surrounding ground level unless filled in with lava.

central uplifts - mountains formed because of the huge increase and rapid decrease in pressure during the impact event. They occur only in the center of craters that are larger than 40 km diameter. See Tycho crater for another example.

walls - characteristically steep and may have giant stairs called terraces.

ejecta - blanket of material surrounding the crater that was excavated during the impact event. Ejecta becomes thinner away from the crater.

rays - bright streaks starting from a crater and extending away for great distances. See Copernicus crater for another example.

Exploring the Moon – A Teacher's Guide with Activities, NASA EG-1997-10-116-HQ