

Séquence de classe

De la poudre noire aux fusées de la conquête spatiale

Cycles 3 et 4

3. Introduction à la chronophotographie

Introduction

Thématiques traitées	Chimie, physique, espace, fusées, histoire des techniques, principe d'action-réaction, transformations chimiques, mouvement, trajectoires, traitement numérique des données
Résumé et objectifs	Les élèves étudient les trajectoires obtenues lors des tests de lancement des fusées en s'appuyant sur les enregistrements réalisés dans la cour, dans un premier temps à la main, puis de façon numérique, grâce à une application sur smartphones et tablettes (FizziQ).
Disciplines engagées	Sciences et technologie
Durée	2 h à 2 h 30

Prise en main de la séquence

Les trois étapes de la séquence sur les fusées peuvent être menées indépendamment les unes des autres. Nous encourageons le professeur à faire sa propre progression adaptée à ses élèves et au temps disponible. Pour l'aider à choisir parmi les propositions, voici l'ordre dans lequel les activités ont été pensées :

- Étape 1 : La poudre noire
- Étape 2 : Défi : La fusée chimique allant le plus haut possible
- Étape 3 : Introduction à la chronophotographie
- Éclairages historique et scientifique

Il est à noter que l'étape 1 peut être mise en œuvre pour conclure la séquence ou pour la démarrer. L'étape 3 est optionnelle. Les éclairages historique et scientifique permettent d'aider à l'appropriation de la séquence.

En amont/préparation

Le professeur a visionné les vidéos des tests de lancement. Il a sélectionné celles qui peuvent être exploitées. Il peut traiter les vidéos en ne gardant que les parties les plus intéressantes, en les ralentissant (pour l'activité 1) ou en augmentant le contraste pour s'assurer de bien voir la fusée (tout particulièrement pour l'activité 2).

Activité 1 : Étude de trajectoires

Objectif général : S'approprier les notions de trajectoire et de référentiel d'études.

Résumé	
Disciplines	Sciences et technologie
Déroulé et modalités	Les élèves tâtonnent pour déterminer les trajectoires empruntées par leur fusée lors des tests de l'étape 2 de la séquence. Après une mise en commun, ils tracent les trajectoires de leur fusée de manière beaucoup plus rigoureuse. Une prise en main d'un outil numérique pour étudier les trajectoires est ensuite proposée aux élèves.
Durée	1 h 30 (à répartir sur deux séances)
Matériel	Pour chaque groupe d'élèves : <ul style="list-style-type: none">• feuilles de papier calque et crayons ;• ordinateur ou tablette avec accès aux vidéos à analyser ;• smartphone ou tablette (Android ou iOS) avec accès aux vidéos à analyser et l'application FizziQ installée ;• document 1 de la fiche 1.
Message à emporter	
Pour pouvoir étudier le mouvement d'un objet, il est impératif de définir un référentiel d'études.	

Déroulé possible

Phase 1 : Tâtonnements pour obtenir les trajectoires (15 min)

L'enseignant demande aux élèves de retrouver le chemin parcouru par la fusée (qu'on appelle sa « trajectoire ») en analysant une vidéo de test et de le comparer avec le dessin de la trajectoire qu'ils ont imaginée lors de l'étape précédente.

Variante :

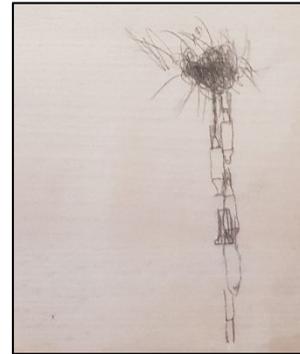
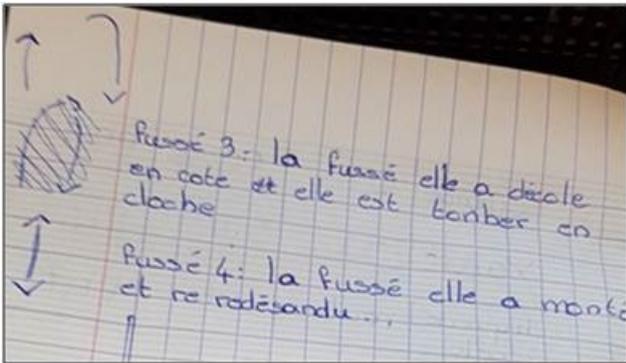
- Si l'enseignant n'a pas filmé les tests de lancement des fusées des élèves ou n'a pas mené l'étape 2, il est possible d'utiliser les vidéos de la classe d'Amandine Long, à retrouver dans le tutoriel « Fusées chimiques » sur la plateforme de formation L@map (<https://elearning-lamap.org/>) ou celles réalisées par les classes de Catherine Le Besnerais, enseignante à Paris (à retrouver sur la page : <https://fondation-lamap.org/sequence-d-activites/de-la-poudre-noire-aux-fusees-de-la-conquete-spatiale>).

Il peut être intéressant de faire traiter les images à la main. Les élèves peuvent faire des arrêts sur image, puis utiliser un calque sur l'écran de l'ordinateur (ou sur des impressions des images qu'ils auront sélectionnées) pour repérer la position de la fusée à différents instants. Ils vont peut-être oublier de noter

la position d'une référence sur leur calque (à la première image). Ils devraient se rendre compte de l'intérêt de préciser le repère utilisé dès la deuxième image.

Note scientifique :

- Pour pouvoir étudier la trajectoire d'un objet, il faut le situer par rapport à un ensemble d'autres objets qui, eux, sont fixes et jouent le rôle de référence (pour l'espace et le temps). C'est ce qu'on appelle un référentiel. Les élèves peuvent utiliser le référentiel terrestre pour étudier les trajectoires des fusées.

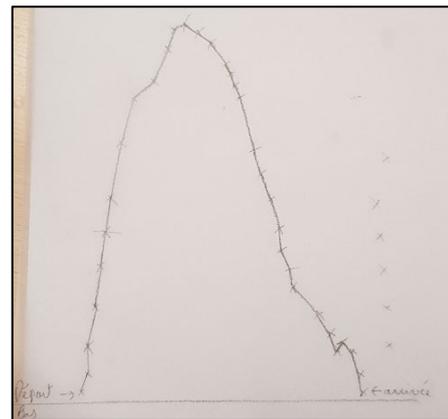


À gauche, notes prises par un élève de 6^e.

À droite, traitement d'une vidéo par un élève de 6^e : lors de la première tentative, l'ensemble de la fusée a été dessiné (classe de Fatima Rahmoun, enseignante à Paris).

Phase 2 : Reprise de l'analyse des trajectoires avec rigueur (30 min)

Un échange avec les élèves permet de préciser qu'il n'y a pas d'intérêt à noter la position de l'ensemble de la fusée lors de ce traitement vidéo. L'enseignant précise alors qu'ils doivent choisir un point particulier sur la fusée et suivre le chemin parcouru par ce point uniquement.



À gauche, élève de 6^e en train de traiter une vidéo « à la main ».

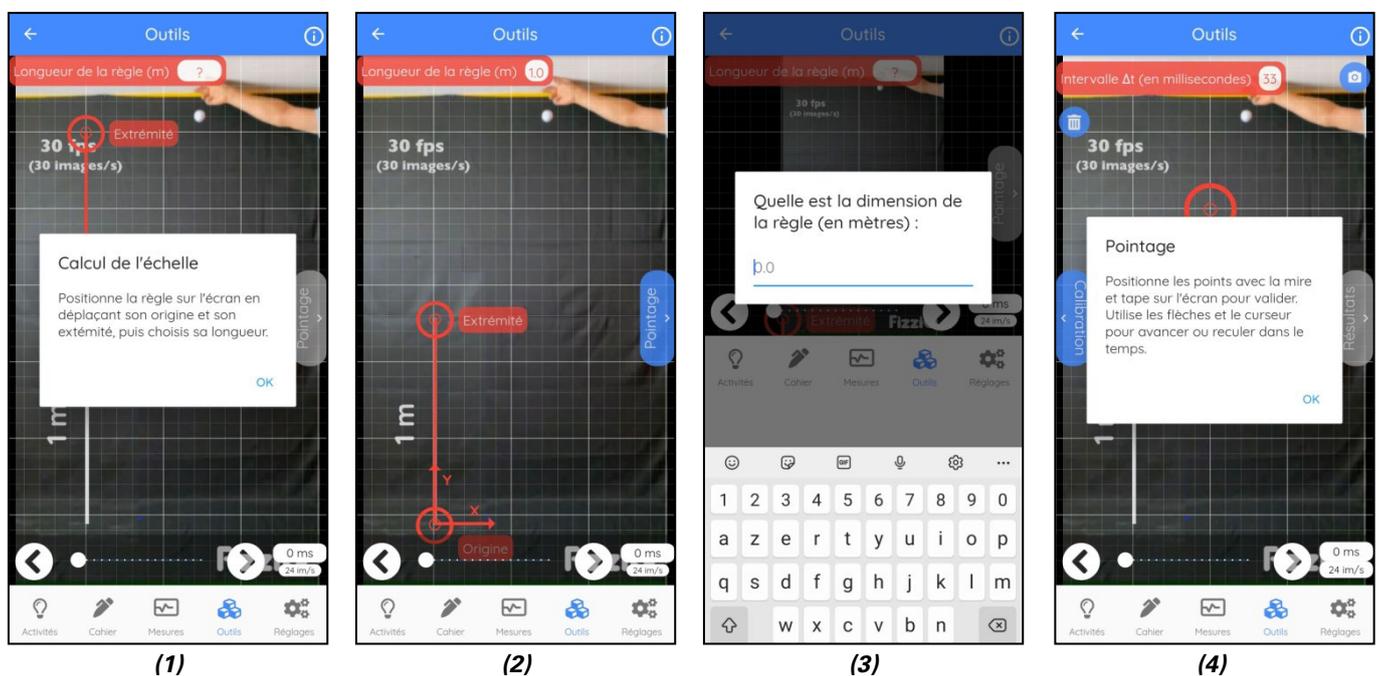
À droite, après une première tentative par tâtonnement et l'échange avec le professeur, un groupe d'élèves réalise de nouveau le traitement vidéo et obtient le graphique ci-dessus. L'enseignant peut commenter le point qui s'écarte de la trajectoire attendue en fin de graphique : est-ce une vraie variation de la trajectoire ou la personne qui a filmé le test a tremblé ?

Phase 3 : Prise en main d'un outil numérique (30 min)

L'enseignant présente aux élèves l'outil qu'ils vont utiliser : l'application FizziQ et, plus précisément, le module « Étude cinématique » de l'onglet « Outils », qui leur propose d'analyser des photographies ou des vidéos (voir fiche 1). Lors de cette phase, les élèves travaillent à partir de vidéos d'un objet en mouvement.

L'enseignant propose aux élèves de découvrir l'outil et leur demande d'identifier les éléments nécessaires pour pouvoir analyser la trajectoire d'un objet.

Pour cela, ils s'entraînent d'abord avec un des exemples proposés par FizziQ (la vidéo de la chute libre ou de la parabole). L'enseignant peut poser les questions suivantes pour guider les élèves dans leur prise en main de l'outil : comment est filmée la vidéo ? Quelles sont les différentes étapes ? Est-ce qu'il y a des indications particulières sur la vidéo et dans l'application ?



Captures d'écran de l'outil « Étude cinématique » de l'application FizziQ lors de l'analyse de la vidéo « Chute libre », disponible directement dans l'application.

La première étape est le paramétrage de l'échelle (1) : les mires sont placées aux extrémités de l'objet de référence (2), dont la taille connue est renseignée (3), puis l'utilisateur peut passer au pointage des positions (4).

Les élèves remarquent qu'il faut une échelle (le terme « règle » est aussi utilisé) et connaître sa dimension : ils pourront faire le parallèle avec la notion de référence introduite à la phase précédente. En faisant défiler la vidéo, ils constatent bien que cette référence ne bouge pas pendant l'enregistrement (la caméra reste fixe).

Les élèves précisent qu'ils doivent positionner l'échelle en repérant son « début » (l'origine) et sa « fin » (l'extrémité), puis indiquer combien elle mesure.

Note scientifique :

- Pour pouvoir analyser la trajectoire d'un objet en mouvement, il faut pouvoir connaître la vraie distance parcourue par celui-ci. Pour cela, il faut avoir un objet de dimension connue visible et dans le plan du mouvement, qui va donc servir de référence : c'est ce qu'on appelle une échelle.

Note pédagogique :

- Si les élèves sont observateurs, il est possible qu'ils remarquent que l'application indique d'autres informations sur l'écran de pointage et qu'elle propose d'afficher ensuite des « Résultats ». L'activité suivante explorera davantage l'outil FizziQ, avec en particulier le calcul de la vitesse.

Conclusion (15 min)

Le professeur échange avec la classe sur ce qui semble important à retenir à la fin de cette activité. Voici un exemple de trace écrite possible, à la suite de cet échange : « Nous avons étudié les chemins parcourus par nos fusées en pointant leur position à différents instants. L'ensemble des positions est appelé "trajectoire". Pour pouvoir déterminer la trajectoire d'un objet, il faut préciser le référentiel dans lequel on étudie son mouvement. Certaines trajectoires ont des formes bien précises : rectilignes, circulaires... ».

Prolongement :

- Pour aller plus loin, il peut être intéressant de proposer aux élèves de s'entraîner à reconstituer des trajectoires à partir de chronophotographies (qu'elles soient réelles ou issues d'animations). L'application FizziQ le propose, en choisissant « Photo » au lieu de « Vidéo » à l'étape 3 du document 1 de la fiche élève. Des exemples de chronophotographies sont déjà intégrés dans l'application. Pour plus d'informations, vous pouvez consulter le défi « Chronophotographie », en ligne sur le site de la Fondation *La main à la pâte* (<https://fondation-lamap.org/defi/defi-scientifique-chronophotographie>).

Activité 2 : Analyse numérique de la trajectoire

Objectif général : Comprendre que l'on peut utiliser un outil numérique pour avoir une analyse précise du mouvement d'un objet et avoir accès à des grandeurs quantitatives.

Résumé	
Disciplines	Sciences et technologie
Déroulé et modalités	Les élèves utilisent un outil numérique pour analyser plus précisément le mouvement de leur fusée, à partir de vidéos réalisées lors de l'étape 2 de la séquence. Ils identifient les éléments dont ils ont besoin pour pouvoir décrire le mouvement de façon quantitative, et pas seulement qualitative. Après une mise en commun, les élèves comparent les trajectoires de leur fusée obtenues à la main avec celles issues de l'outil numérique, et reviennent sur le vocabulaire lié au mouvement de la fusée.
Durée	1h
Matériel	Pour chaque groupe d'élèves : <ul style="list-style-type: none">• smartphone ou tablette (Android ou iOS) avec accès aux vidéos à analyser et l'application FizziQ installée ;• document 2 de la fiche 1.
Message à emporter	
Pour pouvoir étudier précisément le mouvement d'un objet (c'est-à-dire sa trajectoire, ainsi que sa vitesse), il faut pouvoir identifier une échelle de distance et de temps dans le référentiel d'étude. À la manière des scientifiques, on peut utiliser des outils numériques qui permettent de calculer des grandeurs, comme ici, la vitesse de la fusée.	

Note préliminaire :

- Au cycle 3, le calcul de la vitesse n'est pas exigible, mais d'autres notions peuvent être abordées (unités, ordres de grandeur, évolution de la vitesse). L'outil numérique que nous proposons dans cette activité permet en particulier de mesurer cette grandeur et de comparer des données quantitatives pour aborder les notions d'accélération ou de décélération.

Déroulé possible

Phase 1 : Introduction au travail d'un scientifique (10 min)

L'enseignant revient sur le travail mené à l'activité précédente. Il interroge les élèves sur ce qu'ils ont pu observer et leur demande de comparer le mouvement des différentes fusées. Il faut au préalable faire préciser aux élèves que décrire un mouvement, c'est à la fois décrire la trajectoire (sur laquelle ils auront pu travailler à l'activité 1), mais aussi sa vitesse et son évolution.

Les élèves peuvent proposer des réponses telles que : « Cette fusée monte haut, alors qu'une autre n'a presque pas décollé » ; « Une fusée va très vite, alors qu'une autre "a l'air" d'aller plus doucement » ; etc. Certains peuvent peut-être remarquer qu'il n'est pas toujours facile de savoir quelle fusée va le plus vite ou le plus haut avec nos seuls yeux comme outil.

L'enseignant demande alors aux élèves s'ils pensent qu'un scientifique travaillant sur le décollage des fusées se contenterait de ce genre de description (tracé des trajectoires à la main, vocabulaire imprécis comme « a l'air de », « presque », etc.).

Il introduit ainsi l'idée selon laquelle un scientifique utilise des grandeurs qui s'expriment par des nombres : par exemple, pour la vitesse de la fusée, il calculera une vitesse plutôt que de dire « vite » ou « doucement ». Pour cela, il va utiliser des outils d'acquisition de données pour enregistrer ce qui se passe dans la réalité, puis des outils de traitement de données pour analyser ces enregistrements.

L'enseignant propose alors aux élèves d'analyser des vidéos du décollage de leur fusée grâce à l'application qu'ils ont prise en main lors de l'activité précédente (disponible gratuitement sur les smartphones ou les tablettes), afin d'avoir une description plus précise du mouvement de leur fusée, à la manière des scientifiques.

Phase 2 : Identifier les critères pour avoir une « bonne » vidéo (15 min)

Pour pouvoir analyser les vidéos et obtenir des informations précises, il va falloir utiliser une vidéo de bonne qualité. En revenant sur le travail de prise en main de l'outil FizziQ, il est intéressant de faire lister aux élèves les critères qui, selon eux, font la qualité de la vidéo. L'enseignant peut leur proposer de reprendre l'exemple des vidéos « Chute libre » ou « Parabole » de l'application FizziQ.

Les élèves peuvent dire, par exemple, que dans ces vidéos :

- « La caméra reste immobile, il n'y a que la balle qui est en mouvement » ;
- « Il y a une barre de taille connue » ;
- « On voit bien la balle en mouvement » ;
- « La balle change de position entre chaque image de la vidéo » ;
- etc.

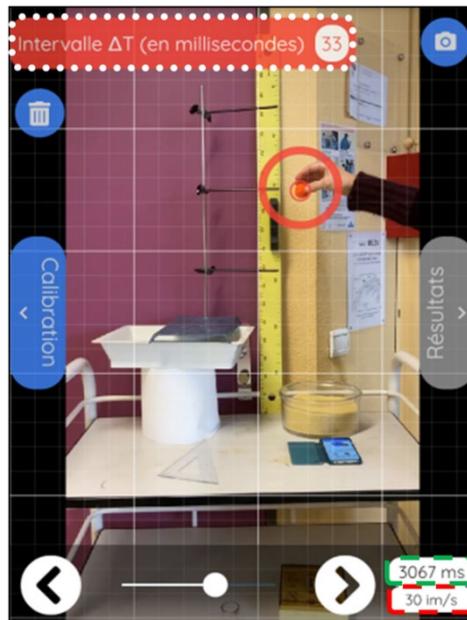
Sur l'écran de pointage, certains élèves remarquent aussi des informations en rapport avec le temps (avec l'unité « millisecondes » que l'enseignant peut mettre en rapport avec les secondes).

Il explique alors que ce paramètre (voir note technique ci-dessous) permettra à l'application de déterminer la durée qu'il a fallu pour parcourir une distance donnée lors d'un mouvement.

Le professeur peut alors interroger les élèves sur la grandeur physique que cela permet de déterminer. Par exemple il peut demander : « Qu'est-ce que cela signifie si deux fusées parcourent la même distance, mais avec des temps différents ? » Les élèves comprennent que « celle qui met le moins de temps arrive en premier », « elle va plus vite » : si on connaît la durée, on a donc accès à la vitesse de la fusée.

Notes scientifiques :

- Pour calculer la vitesse moyenne d'un objet en mouvement, il faut connaître la distance parcourue et la durée qu'il a fallu pour la parcourir, puis faire le rapport de cette distance sur la durée du parcours.
- Une vidéo est une succession d'images enregistrées avec un pas de temps régulier, et non un défilement continu d'images au cours du temps : il y a donc un intervalle de temps ΔT fixe et constant entre deux images successives. Cela correspond à une fréquence d'enregistrement qui s'exprime en images par seconde (im/s) ou « frames per second » (fps) en anglais.



Sur l'écran, on peut lire la durée correspondant à chaque image de la vidéo (cercle en tirets verts). Cette grandeur augmente au fur et à mesure que la vidéo avance. Ici, par exemple, 3 067 ms se sont écoulées depuis le début de la vidéo).

Note technique :

- L'intervalle de temps ΔT entre deux images successives est écrit en haut à gauche de l'écran (cercle en pointillés blancs sur l'image ci-dessus). Par défaut, FizziQ indique automatiquement un ΔT qui correspond à la fréquence d'enregistrement de la vidéo, en images par seconde (cercle en tirets rouges). On peut la modifier manuellement (par exemple si le déplacement entre deux images consécutives est trop petit pour être visible).

Dans le cas ci-dessus, l'intervalle de temps entre deux images de la vidéo est de 33 ms.

Si on ne visualise qu'une image sur deux, il faudra alors modifier ce paramètre et indiquer $2 \times 33 = 66$ ms comme ΔT . Pour visualiser une image sur trois, il faudra indiquer $\Delta T = 3 \times 33 = 99$ ms ; etc.

Variantes :

- Ne pas jeter les vidéos « imparfaites » (caméra qui bouge, absence d'échelle, etc.) : avant de passer à la phase 3, l'enseignant peut proposer d'identifier, parmi les vidéos de décollage de fusées disponibles, celles qui peuvent être analysées et celles pour lesquelles il manque des informations.
- De façon optionnelle, l'enseignant peut aussi proposer aux élèves de refaire des vidéos de lancement de fusées en respectant les critères listés ci-dessus.

Conseils de réalisation des vidéos :

- Il est difficile de prévoir la vitesse ou la hauteur qu'atteindront les fusées ! Mais, dans l'idéal, il faut être assez éloigné pour éviter qu'elles ne sortent du champ (si on veut par exemple pouvoir mesurer la hauteur maximale atteinte), mais suffisamment proche pour qu'elles soient bien visibles. Une orientation en mode « Portrait » est généralement plus adaptée à ce type de mouvement.
- Pour favoriser le contraste entre les fusées et le fond, et faciliter le pointage par la suite, il peut être utile de peindre les fusées ou de les identifier avec de gros autocollants de couleur.
- Il sera bon d'enregistrer la vidéo avec la plus grande fréquence d'images par seconde possible : si les fusées sont trop rapides et la fréquence trop basse, il n'y aura pas assez d'images pour faire un pointage précis. Pour indication, la plupart des téléphones enregistrent en 30 images par seconde, mais certains, comme les iPhone, peuvent filmer en 60 images par seconde.



Exemple de cadrage d'une vidéo du décollage d'une fusée réalisée par les élèves de 6^e du collège Raymond-Queneau (classe de Catherine Le Besnerais). Une règle de tableau a été placée dans le même plan que la fusée, comme échelle.

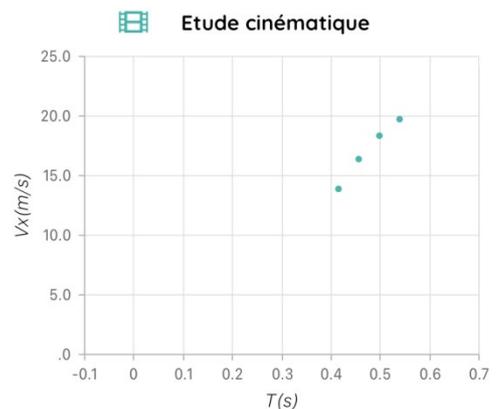
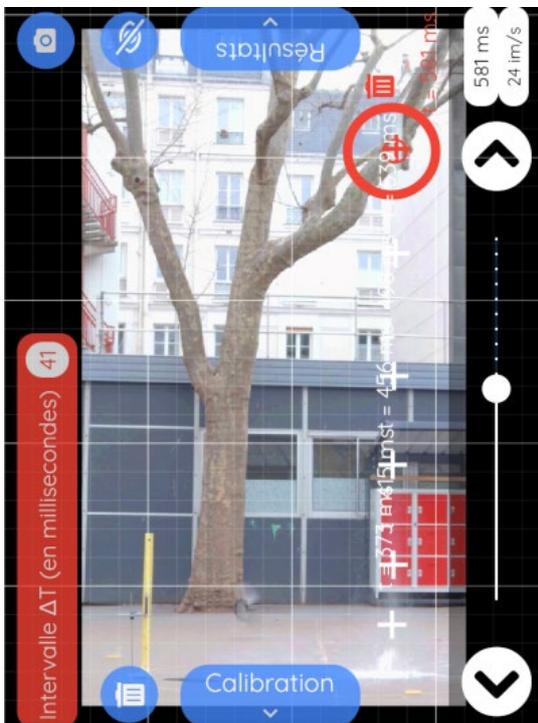
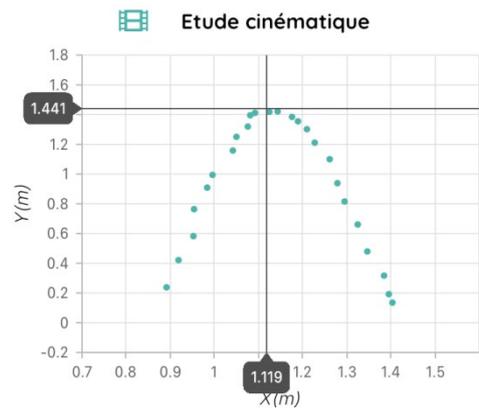
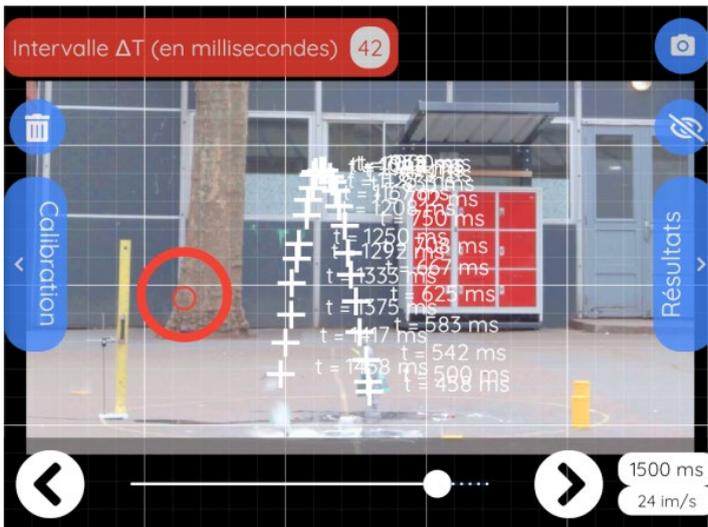
Phase 3 : Analyse des vidéos avec FizziQ (15 min)

Variante :

- Si l'enseignant n'a pas filmé les tests de lancement des fusées des élèves, qu'il n'a pas mené l'étape 2 ou encore que sa vidéo n'est pas exploitable dans le cadre de cette activité, il est possible d'utiliser les vidéos des fusées réalisées par les classes de Catherine Le Besnerais (à retrouver sur la page : <https://fondation-lamap.org/sequence-d-activites/de-la-poudre-noire-aux-fusees-de-la-conquete-spatiale>).

L'enseignant demande aux élèves d'identifier des questions auxquelles ils doivent essayer de répondre en analysant les vidéos du décollage des fusées pour mieux décrire leurs mouvements. En fonction des vidéos disponibles, les questions peuvent être, par exemple :

- « Peut-on obtenir précisément la trajectoire de la fusée ? » ;
- « Quelle hauteur maximale a atteint la fusée ? » ;
- « Comment évolue la vitesse au cours du mouvement : est-ce que la fusée va de plus en plus vite ou, à l'inverse, ralentit ? ».



À gauche, des exemples de pointages de deux vidéos des fusées des élèves de Catherine Le Besnerais (collège Raymond-Queneau).

À droite, les graphiques issus de ces pointages permettent de répondre aux questions.

- **En haut : le graphique des positions permet de connaître la hauteur maximale atteinte par la fusée, qui correspond au point le plus haut (soit environ 1,4 m).**
- **En bas : le graphique des vitesses en fonction du temps montre l'évolution de la vitesse. Ici, elle augmente, donc le mouvement est accéléré.**

Note scientifique :

- Si la trajectoire n'est pas rectiligne selon l'axe horizontal (X) ou vertical (Y), la vitesse absolue de l'objet est composée d'une vitesse selon l'axe X et d'une vitesse selon l'axe Y : ce sont ces vitesses (V_x et V_y) qui sont calculées par FizziQ. Cette notion ne fait pas partie des référentiels de cycles 3 et 4, mais de lycée : pour aborder la vitesse et les notions d'accélération et de décélération, il vaudra mieux sélectionner des vidéos comme celle de la chute libre ou l'exemple de la fusée ci-dessus, qui ont des trajectoires rectilignes.

Conclusion (15 min)

Le professeur échange avec la classe sur ce qui semble important à retenir à la fin de cette activité.

Après cet échange, les élèves pourront par exemple noter dans leurs cahiers :

« Nous avons analysé les trajectoires de nos fusées grâce à une application d'analyse de vidéos image par image. À partir d'une vidéo, nous avons pointé les positions successives de la fusée, puis tracé sa trajectoire précisément, en affichant cette série de points sur un graphique. Cela nous permet de connaître la hauteur maximale atteinte par la fusée ou sa vitesse.

Pour obtenir ces grandeurs, il a fallu mettre en évidence une échelle sur la vidéo, c'est-à-dire un objet de taille connue, au même niveau que l'objet en mouvement, qui sert de référence pour les distances.

Lors de l'ascension de la fusée, les points sont de plus en plus proches. Cela veut dire que la distance parcourue par la fusée entre deux images diminue : elle va de moins en moins vite (phase de décélération). Puis la fusée redescend : les points sont de plus en plus éloignés les uns des autres. Cela veut dire que la distance parcourue par la fusée entre deux images augmente. Elle va de plus en plus vite (phase d'accélération). »

Prolongements possibles :

- Il est possible de diffuser en classe les vidéos de chercheurs présentant d'autres types de propulsions et les enjeux de la recherche actuelle. Ces vidéos sont à retrouver dans le tutoriel « Fusées chimiques », accessible depuis la plateforme de formation L@map : <https://elearning-lamap.org/>.
- Grâce à l'application FizziQ, vous pouvez analyser d'autres objets en mouvement. Par exemple, voici la vidéo de l'atterrissage de la fusée Falcon 9 de SpaceX : https://video.wixstatic.com/video/5a84a5_ee1b36d9e0ca4d6194494044e09988da/720p/mp4/file.mp4.
Pour plus d'informations, vous pouvez consulter le défi « Analyse vidéo d'un mouvement » sur le site de la Fondation *La main à la pâte* : <https://fondation-lamap.org/defi/defi-scientifique-analyse-video-d-un-mouvement>.

Crédits

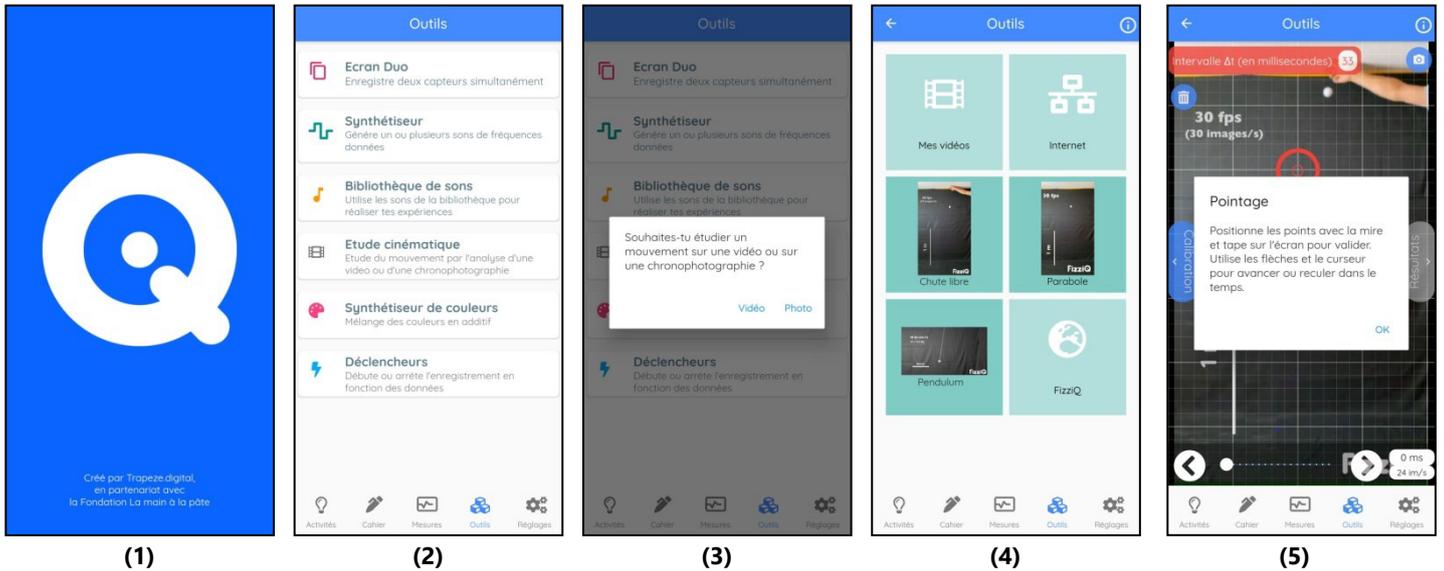
Photographies : Fatima Rahmoun et Pauline Bacle pour la Fondation *La main à la pâte*.

Vidéos : Amandine Long pour la Fondation *La main à la pâte*, Maison pour la Science Paris - Île-de-France.

Fiche 1

Ces deux documents constituent un guidage « pas à pas » qui permet de prendre rapidement en main le module « Étude cinématique » des « Outils » de l'application FizziQ.

Document 1 : Comment tracer la trajectoire d'un objet avec FizziQ ?



- Ouvre FizziQ **(1)**.
- Dans « Outils », choisis « Étude cinématique » **(2)**, puis « Vidéo » **(3)**.
- Choisis une des vidéos proposées : « Chute libre » ou « Parabole » **(4)**.
- Pour les étapes suivantes, FizziQ te guide pas à pas :
 - **Calibration** : il faut d'abord indiquer l'échelle en plaçant avec le doigt son origine et son extrémité sur un objet de taille connue.
 - **Pointage** : on va réaliser le pointage à l'aide de la cible rouge que tu peux déplacer doucement, en « caressant » l'écran pour bien l'ajuster à l'endroit souhaité – pas besoin d'avoir le doigt « sur » la cible !
Tu peux aussi faire défiler la vidéo à l'aide des flèches pour trouver le moment où le mouvement est bien visible.
- Une fois la trajectoire tracée sur l'application, ajoute la photo de cette trajectoire dans le cahier d'expériences de l'application en cliquant sur le symbole  **(5)**.

Document 2 : Comment analyser la vitesse d'un objet avec FizziQ ?

- Ouvre FizziQ **(1)**.
- Dans « Outils », choisis « Étude cinématique » **(2)**, puis « Vidéo » **(3)**.
- Choisis une des vidéos de fusées enregistrées dans la tablette ou le smartphone, en cliquant sur « Mes vidéos » **(4)**.
- Réalise le pointage de la trajectoire, puis clique sur « Résultats ». Il est maintenant temps d'analyser les données ! Tu peux sauvegarder les résultats dans le cahier d'expériences : sélectionne les grandeurs que tu veux étudier (jusqu'à 3 grandeurs par enregistrement) puis clique sur « Cahier ». Dans le cahier, ces résultats peuvent s'afficher sous forme de tableaux ou de graphiques.

Coordination

Fatima RAHMOUN pour la Fondation *La main à la pâte*

Contributeurices

Fatima RAHMOUN, Pauline BACLE

Remerciements

Roland LEHOUCQ, Katia ALLÉGRAUD, Antoine ÉLOI, Aube-Marine MANGIN, Amandine LONG, Anne LEJEUNE, Marie-Lise ROUX, Kévin FAIX, Antoine HUPELIER, Catherine LE BESNERAIS

Cette ressource a été produite avec le soutien de la Fondation de la Maison de la Chimie, de CGI et de la Fondation Sciences Éducation Solidarité



En partenariat avec Mediachimie et Trapeze.digital



Date de publication

Mai 2021 (modifiée en novembre 2022)

Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'Utilisation Commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

