

# Les talents d'Indiana Jones !



Indiana Jones, le célèbre aventurier est un expert pour faire claquer son fouet ; pour ce faire, il génère, d'un mouvement de poignet, un ébranlement qui se déplace le long de la lanière en cuir du fouet.



Le but de cette activité est de répondre à la question suivante : *Quelle est l'origine du claquement du fouet ?*



## — Compétences mises en jeu durant l'activité : —

### **Compétence(s) spécifique(s) :**

- ✓ Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité).
- ✓ Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier qualitativement et quantitativement un phénomène de propagation d'une onde.

### **Compétence(s) expérimentale(s) :**

- ✓ S'approprier : Se questionner et identifier la problématique proposée.
- ✓ Valider : Identifier les sources d'erreurs.
- ✓ Communiquer : Rédiger une synthèse de documents.

### **Mesures et incertitudes :**

- ✓ Évaluer l'incertitude d'une mesure unique obtenue à l'aide d'un instrument de mesure

## L'onde progressive ?

### Le fouet

Une onde voyageant sur une corde ne se déplace pas toujours à la même vitesse, car la vitesse dépend de la densité massique de la corde. C'est cette propriété qui est utilisée dans le fouet.

Le fouet est l'équivalent d'une corde dont la masse linéique diminue avec la longueur (très massive près de la poignée et peu massive à l'autre extrémité). Lorsqu'on agite le fouet, l'onde se déplace de plus en plus rapidement. La grande vitesse atteinte par l'extrémité du fouet peut déplacer brusquement une quantité d'air et ainsi provoquer un claquement.



Le fouet de l'aventurier est un bullwhip 450, tressé de lanières de cuir de kangourou.

### Situation-problème :

« Avec l'aide des documents, après avoir énoncé les propriétés d'une onde...

...Mettre en œuvre une démarche permettant d'étudier qualitativement et quantitativement le phénomène à l'origine du claquement du fouet d'Indy ! »

### Consignes :



- Définir une onde progressive, et donner les propriétés qui la caractérisent.
- Elaborer un protocole de mesure de la célérité d'une onde et le mettre en œuvre.
- Rédiger le compte rendu argumenté sur le cahier de laboratoire.

# Coups de pouce !

## Document 1 : Qu'est-ce qu'une onde?

«Une nouvelle part de Washington et arrive très rapidement à New York, bien que pas un des individus qui prennent part à sa propagation ne fasse le voyage d'une cité à l'autre. Il y a là deux mouvements tout à fait différents, celui de la nouvelle, qui part de Washington à New-York, et celui des personnes qui l'ont répandue. Le vent qui passe sur un champ de blé fait naître une onde qui se propage à travers tout le champ. Ici (...) nous devons distinguer le mouvement de l'onde et le mouvement des épis séparés, qui ne subissent que de petites oscillations. Nous avons tous vu les ondes qui se répandent en cercles de plus en plus larges quand on jette une pierre dans un lac. Le mouvement de l'onde est très différent de celui des particules d'eau. Les particules se relèvent et s'abaissent. Un bouchon de liège flottant sur l'onde le montre clairement, car il se relève et s'abaisse à l'imitation du mouvement réel de l'eau, au lieu d'être emporté par l'onde. »







Champ de blé aux corbeaux (Vincent Van Gog 1890)

Albert Einstein et Léopold Infeld © Flammarion L'évolution des idées en physique.

## Document 2 : Onde et temps de réaction d'un milieu

Lorsqu'il y a des forces d'appliquées sur un milieu, ce n'est pas l'ensemble du milieu qui réagit instantanément. Puisque le milieu est constitué de plusieurs particules en interaction entre elles, il faut donner le temps aux forces d'interaction (forces internes) de propager la perturbation.

On peut ainsi définir une onde comme étant la déformation évolutive du milieu sous la présence d'une perturbation. On utilise le concept d'onde mécanique pour mesurer la vitesse de propagation d'une perturbation externe et pour mesurer la position des éléments du milieu dans le temps.

Onde mécanique			Onde électromagnétique
Tremblement de terre	Son d'un haut-parleur	Vague	Onde radio
			
Milieu : terre	Milieu : air	Milieu : eau	Milieu : Vide

Marc Séguin, Physique XXI, chapitre 1.8

## Document 3 : Le claquement du fouet est supersonique

En 1887, les physiciens autrichiens Ernst Mach et Peter Salcher montrent qu'un projectile animé d'une vitesse supérieure à celle du son engendre une onde de choc en forme de cône, qui se manifeste par un claquement: le passage du mur du son.

Inspiré par ces travaux, le physicien allemand Otto Lummer émet pour la première fois l'hypothèse que le claquement du fouet n'est autre qu'un bang supersonique ...sans le prouver physiquement, ni expérimentalement.

Il a fallu attendre 1998 pour que le physicien allemand P. Krehl rapporte une observation essentielle, dont il tira une intuition non vérifiée: le bang supersonique est émis quand la vitesse du bout de la tige atteint... deux fois celle du son!

Ces observations allaient guider le mathématicien belge Alain Goriely et son collègue américain Tyler McMillen, qui entreprirent en 2002 de prouver cette hypothèse. En mettant en équation la propagation de l'onde de choc se propageant le long de la tige, ces deux chercheurs ont montré que le bang supersonique n'est pas provoqué par le bout de la tige, mais par la boucle plane née de l'impulsion initiale donnée au fouet: se propageant le long de la tige élastique, sa vitesse augmente à mesure que son rayon réduit, avant d'atteindre le mur du son. La boucle transmet alors son énergie cinétique à l'extrémité du fouet, qui lui est propulsé deux fois plus vite!

C'est donc la boucle qui est responsable du bang supersonique du fouet, et non son extrémité. « Rien ne peut être résolu intuitivement: sans analyse mathématique du problème, on peut rater des phénomènes », conclut Alain Goriely.

Au petit Théâtre de la Science

<http://sarah.adida.free.fr/> juin.29, 2010

### Document 3 : Vitesse de propagation d'une onde transversale dans une corde tendue

Lorsqu'une corde tendue oscille avec des petites oscillations, l'onde transversale déformant la corde voyage à une célérité  $v$  qui dépend de la tension  $F$  appliquée sur la corde et de la masse linéique  $\mu$  de la corde de la façon suivante :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

$F$  : Tension appliquée sur la corde (N)  
 $\mu$  : Masse linéique d'une corde uniforme ( $\text{kg.m}^{-1}$ )



Vidéo d'étude

[http://www.ostralo.net/3\\_animations/swf/propag\\_corde.swf](http://www.ostralo.net/3_animations/swf/propag_corde.swf)

Ci-contre un exemple de simulation à l'aide d'un logiciel de la propagation de la perturbation le long de la corde : l'ébranlement est repéré à différentes dates séparées d'un intervalle de temps  $\Delta t = 3,5 \times 10^{-2}$  s sur une corde de  $L = 3,0$  m.

D'après BAC S Métropole 2012

