

Du CM1  
à la 4<sup>ème</sup>

## DOSSIER PÉDAGOGIQUE



### INFOS PRATIQUES

- Durée de la visite :** de 2 à 4 heures.
- Nombre d'élèves :** classe entière ou demi-classe.
- Encadrement :** deux animateurs.
- Niveau :** du CM1 à la terminale. Animation adaptée à chaque niveau.
- Pour compléter la visite :** possibilité de visiter un laboratoire, l'Observatoire ou le Jardin botanique, rencontrer un chercheur, etc. (à programmer avec les animateurs au moment de la réservation).

Informations, réservation et demande du dossier pédagogique :  
**Johanna Deridder** ☎ 03 81 66 55 06  
 ou **Marie-Pierre Terreaux** ☎ 03 81 66 20 95  
 fabrika-sciences@univ-fcomte.fr  
 Site internet : www.fabrika-sciences.fr



Graphisme : Isabelle Benaigle / © Photos : UFC - G. Panneton

# fabrika sciences

## LE TOUR DE LA QUESTION

### EXPO INTERACTIVE Du CM1 au Lycée

**FABRIKA SCIENCES**  
 Université de Franche-Comté  
 IUT Besançon - Vesoul  
 Bâtiment Génie Mécanique et Productique

**Entrée libre sur réservation**  
**Groupes uniquement**

# VELO LE TOUR DE LA QUESTION

La **Fabrika sciences** est née d'un partenariat entre deux structures visant à développer la culture scientifique en Franche Comté :

**La Mission culture scientifique et technique (CST) de l'université de Franche-Comté** développe différents types de médiations sur les recherches menées dans les laboratoires. Ses trois principaux objectifs sont d'expliquer au plus grand nombre les travaux réalisés par les chercheurs, de situer ces travaux dans leur contexte social et plus globalement de discuter et de débattre autour des sciences.

## La Fabrika science : un espace dédié à la culture scientifique et technique à l'université

Le **Pavillon des sciences** est le centre de culture scientifique, technique et industriel (CCSTI) de Franche-Comté. Fort de ses 20 ans d'expérience, il est reconnu pour son savoir-faire en médiation scientifique.

Tout naturellement, ces deux structures, fortement soutenues par la Région Franche-Comté, se sont associées pour concevoir cet espace de 100m<sup>2</sup> de manips dédiées aux scolaires, mettant en scène les recherches de l'université, tout en abordant les principes scientifiques fondamentaux sur lesquels ces recherches s'appuient.

Le thème choisi pour la première exposition de la **Fabrika sciences** est le vélo et traite de mécanique et de science du sport.

## Les étapes du tour...

### UNE EXPOSITION SCIENTIFIQUE SUR LE SPORT ET LA BICYCLETTE

#### Pourquoi le vélo ?

Parce qu'à l'heure des Vélocité et des Vélib', le vélo est en train de redevenir un moyen de transport majeur.

Parce que du vélo de route au BMX, la bicyclette attire la curiosité des plus petits comme des plus grands.

Enfin, Parce que l'université de Franche-Comté, via l'institut FEMTO ST, participe aux recherches menées sur l'amélioration des performances à vélo d'un point de vue biomécanique et mécanique.

Pour l'ensemble de ces raisons, le vélo a été choisi comme thématique pour la première exposition de la Fabrika sciences.

#### Les manips

Les manips. de l'exposition « Vélosciences », qui sont détaillées dans ce dossier pédagogique, traitent de phénomènes physiques de base tels que la force, le travail, la puissance et la démultiplication des forces, et abordent des problématiques plus spécifiquement liées à la performance sportive comme la résistance de l'air, l'inertie et la gestion de l'effort.

L'exposition est construite autour de 6 modules :

#### - Un petit vélo dans la tête :

une invitation à entrer dans le monde de la recherche en mécanique et en sciences du sport

#### - Garder la cadence :

le changement de vitesse

#### - Bien se positionner :

la résistance de l'air

#### - Gérer son effort :

la démultiplication des forces

#### - Et ça roule :

inertie et effet gyroscopique

#### - Tournez méninges :

les recherches en science du sport



### DES THÉMATIQUES DE RECHERCHE ACTUELLES

Cette exposition interactive a été réalisée d'après le travail de chercheurs en mécanique et en sciences du sport de l'institut FEMTO ST.

Le laboratoire de « biomécanique » de l'institut FEMTO ST de l'université de Franche-Comté fédère des recherches en mécanique, en médecine et en sport, menées en collaboration avec les fédérations sportives, françaises ou internationales, afin d'améliorer les performances des sportifs.

Une meilleure compréhension scientifique des phénomènes impliqués dans la pratique d'une activité sportive favorise en effet la maîtrise de cette activité.

Dans le cas du cyclisme, les études menées par les chercheurs du laboratoire de biomécanique reposent sur le développement d'outils et de systèmes de mesure permettant de suivre les cyclistes, tant sur le plan physiologique que psychologique.

### OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

L'objectif premier de cette exposition est de susciter l'envie de découvrir des thématiques scientifiques par l'intermédiaire du jeu et de la manipulation. Elle vise aussi à faire comprendre un certain nombre de concepts mécaniques, physiologiques et psychologiques qui régissent la pratique du cyclisme.

Parmi ces concepts, on trouve :

- le fonctionnement des engrenages,
- la démultiplication des forces,
- les notions de forces, de travail et de moment,
- la perception de l'effort,
- la résistance de l'air,
- l'inertie et l'effet gyroscopique.

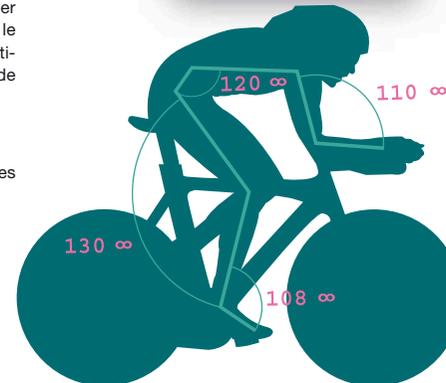
Quelques aspects sociaux et historiques de ces thématiques sont aussi abordés :

- les engrenages et l'industrialisation en Franche-Comté,
- le vélo dans le monde et au quotidien.

### DÉROULEMENT DE LA VISITE

En arrivant à la **Fabrika sciences** les élèves sont immédiatement accueillis par deux animateurs qui débütent la visite par une brève présentation du sujet de l'exposition et des recherches menées par l'université sur l'amélioration des performances à vélo. Ensuite les élèves sont invités à se rendre par groupes sur l'une des 25 manips de l'exposition et à suivre les explications indiquées sur les panneaux. Chaque manip. met en évidence un des concepts scientifiques précédemment cités.

Les animateurs assurent l'explication de tous les phénomènes mis en valeur par les élèves. Les professeurs sont aussi mis à contribution pour guider la réflexion des élèves.



# LES ENGRENAGES

# 1

vélo  
sciences  
LE TOUR DE LA QUESTION



© Charfield Amberley Working Museum - Angleterre

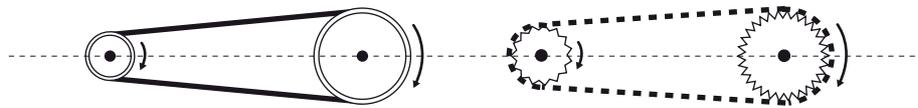
Les engrenages sont utilisés dans les microtechniques comme dans l'industrie.

## POUR COMMENCER

Pour faire passer un mouvement d'une roue à une autre, on a eu l'idée de mettre les roues en contact l'une avec l'autre, de manière à ce qu'elles se transmettent directement le mouvement. Mais on s'est rendu compte que les roues glissaient l'une sur l'autre. On a donc pensé à mettre des dents à ces roues. L'engrenage était né.



Quand les deux roues ne peuvent pas se toucher, on peut mettre une courroie ou une chaîne pour faire passer le mouvement. Contrairement aux engrenages simples, les chaînes conservent le sens de rotation.



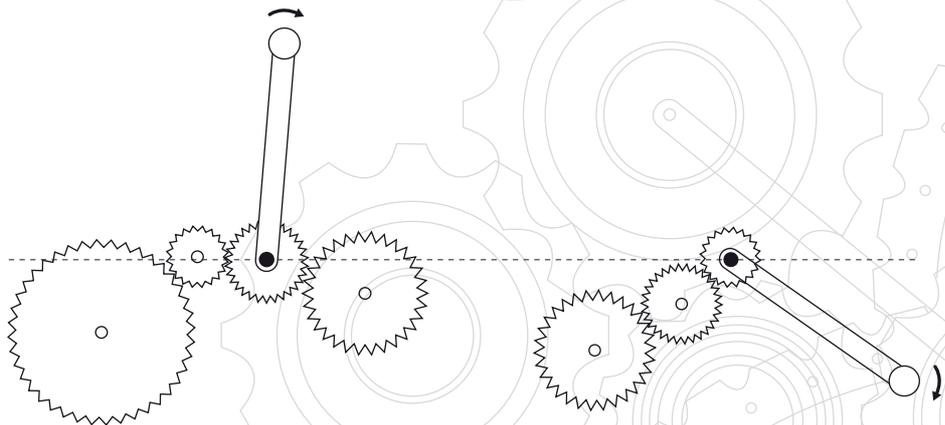
On peut calculer un rapport de transmission entre deux roues en divisant le nombre de dents de l'engrenage de sortie par celui de l'engrenage d'entrée. Si  $R > 1$ , il est multiplicateur ; si  $R < 1$ , il est réducteur.



## LES MANIPS

### Les engrenages : passeurs de mouvements

L'élève tourne deux manivelles qui actionnent chacune un train d'engrenages. Il peut dessiner le sens de rotation de chaque roue sur la manip ; des repères colorés permettent de comparer la vitesse de rotation de chaque roue en fonction de sa taille. Un engrenage permet d'accélérer ou de ralentir un mouvement et de changer le sens de rotation des roues.



### Notions abordées

- transmission du mouvement
- transformation du mouvement
- mouvement et vitesse

---



---

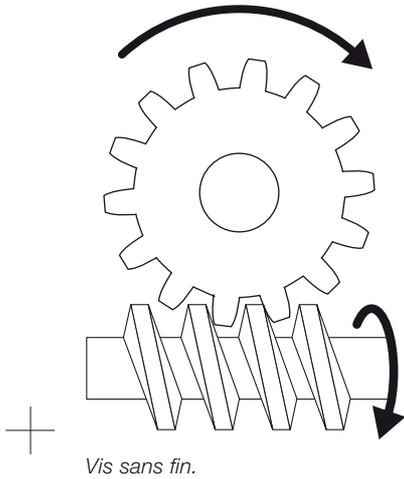


---

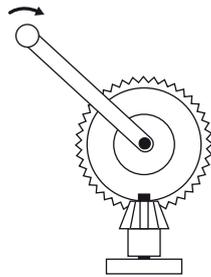
## Le pouvoir transformateur des engrenages

Trois manivelles déclenchent des engrenages qui transforment le mouvement initial. La première provoque un changement d'orientation de l'axe de rotation (1), la deuxième une transformation du mouvement de rotation en translation (2), et la dernière ne peut pas tourner car les trois roues se touchent (3).

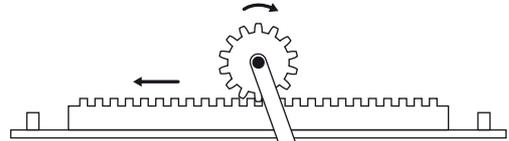
Suivant sa forme, un engrenage peut donc transformer un mouvement en fonction de l'utilisation que l'on veut en faire.



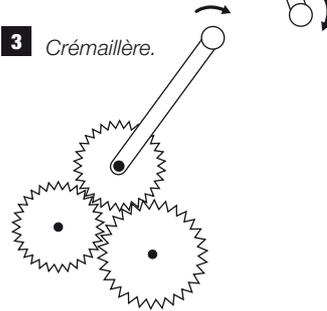
**1** Engrenage cônica avec changement d'axe de rotation.



**2** Crémaillère.



**3** Crémaillère.



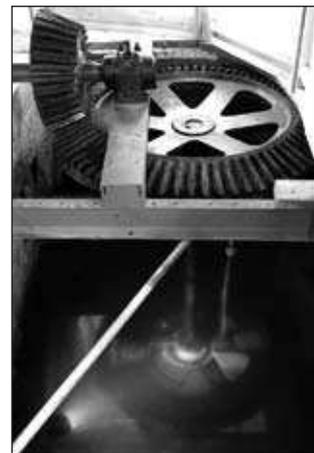
Roue hydraulique du puits d'Amont, salines de Salins-les-Bains.

## Ouverture : les engrenages et l'industrialisation en Franche-Comté

Ce panneau invite à découvrir le patrimoine industriel de la région à travers ses engrenages magistraux (roue hydraulique des Salines de Salins-les-Bains, turbine hydraulique de la boissellerie de Bois d'Amont et ordon à martinet de forge de la taillanderie de Nans-sous-Sainte-Anne).



Roue hydraulique à augets, taillanderie de Nans-sous-Sainte-Anne.

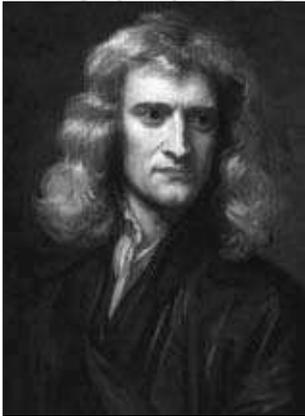


Turbine hydraulique actionnant une scie battante, musée de la boissellerie à Bois d'Amont.

LES FORCES

2

vélo  
sciences  
LE TOUR DE LA QUESTION



Isaac Newton (1643-1727)  
Portrait de Godfrey Keller - 1689

POUR COMMENCER

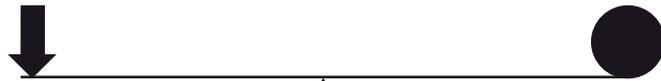
Les forces

En 1687, Isaac Newton définit la force qui s'exerce sur un objet comme « une action mécanique capable de modifier la vitesse d'un objet ou d'une partie d'un objet, en provoquant un déplacement ou une déformation de l'objet ». Pour monter une côte vélo ou pour porter un objet lourd, il est toujours question de forces.

Les leviers

Il existe trois types de leviers qui diffèrent par la position du pivot et de la force à exercer.

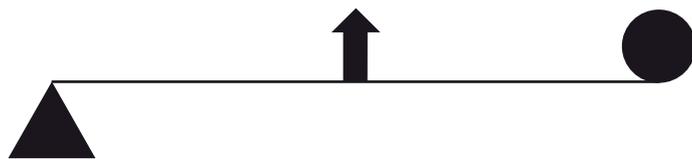
1 Exemple : la balance.



2 Exemple : la brouette.



3 Exemple : la canne à pêche.



- Poids
- ▲ Pivot
- ↑ Force

Notions abordées

- usage d'un axe
- équilibre
- transmission d'un mouvement
- poids
- sensibilisation au travail et au moment d'une force

LES MANIPS

1. Les leviers

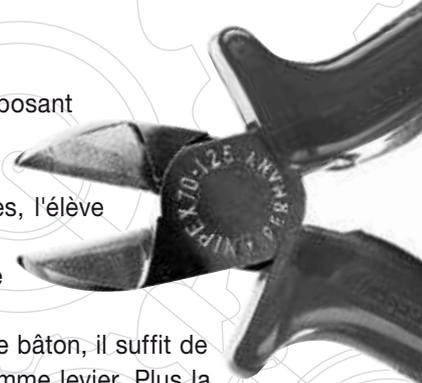
Leviers du premier genre : la cisaille

On constate qu'il est possible d'équilibrer une balance en posant moitié moins de masses d'un côté si on les pose à une distance double de l'axe.

À l'aide d'une cisaille dont on peut allonger les manches, l'élève doit couper des tiges de métal de gros diamètre.

Il constate que plus le manche est long, plus la manœuvre est facile.

Pour soulever une très grosse charge à l'aide d'un simple bâton, il suffit de mettre une petite cale dessous pour utiliser le bâton comme levier. Plus la cale est proche de la charge et plus le bâton est long, plus la charge est facile à soulever.





# LES FORCES



La brouette ou la canne à pêche sont des exemples de leviers qui réduisent les efforts.



### Levier du deuxième genre : la brouette

Pour porter des sacs de sable avec une brouette, on pose les sacs plus ou moins près de la roue. Plus la masse est proche de la roue, plus elle est facile à porter.

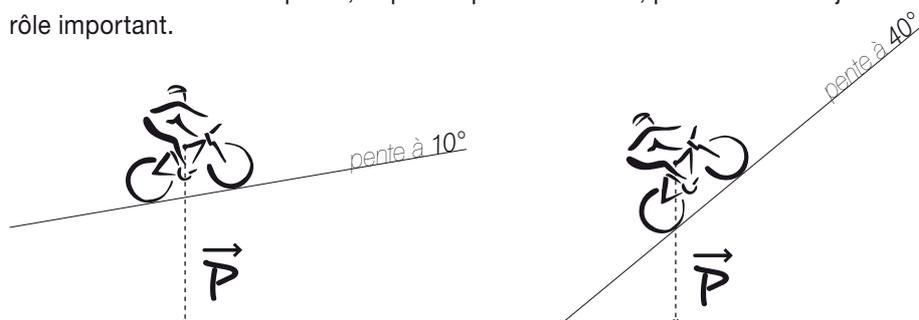
### Levier du troisième genre : le bras de levier

La manip « bras de levier » permet de constater que la direction de la force que l'on exerce pour porter une masse joue sur son efficacité.

Tous ces types de leviers permettent de comprendre *le moment d'une force* : c'est l'aptitude de cette force à faire tourner un système mécanique autour d'un axe. Plus la force est déployée loin de l'axe, plus elle est efficace.

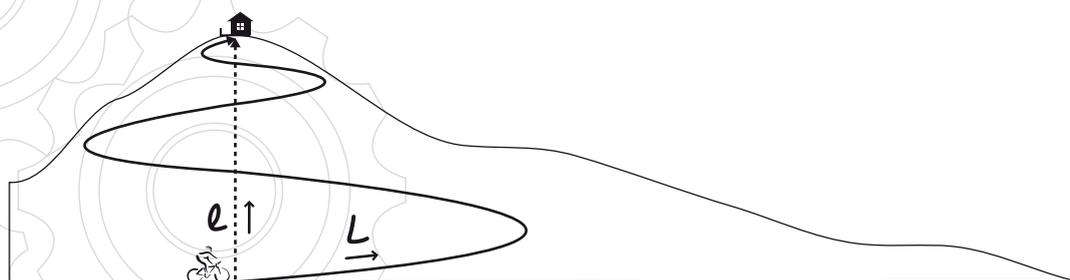
## 2. En plaine ou en montagne : plans inclinés

Des chariots – avec et sans roulettes – se déplacent sur deux plans inclinés de  $10^\circ$  et  $40^\circ$ . Ils sont reliés à un support sur lequel on ajoute des forces qui font avancer les chariots. L'élève remarque que la masse faisant monter le chariot sur le plan incliné à  $40^\circ$  est supérieure à celle nécessaire pour le plan à  $10^\circ$ . Elle est encore plus grande lorsque le chariot frotte sur le plan incliné. C'est le poids qui « tire » le chariot vers le bas de la pente, et plus la pente est raide, plus cette force joue un rôle important.



## 3. Réduis ta fatigue : passe le col !

Il s'agit d'une simulation de montagne à gravir à vélo en partant droit dans la pente ou en faisant des zigzags. Un petit appareil branché sur le vélo, le *Power tap*, réunit des informations telles que la distance parcourue, la vitesse moyenne et la fréquence cardiaque du cycliste. Ces données permettent à l'élève de réaliser que l'on déploie une plus petite force en passant par un chemin plus long mais moins pentu. La quantité d'énergie – ou travail – à fournir pour arriver au sommet est pourtant la même.



Pour arriver au refuge, plus le détour est long, plus la force à déployer est petite.

DÉMULTIPLICATION

3

sciences  
LE TOUR DE LA QUESTION



Les poulies sont utilisées aussi bien pour déplacer des charges importantes sur des chantiers que pour hisser des voiles de bateau.

**POUR COMMENCER**

La démultiplication est un principe mécanique qui permet de diminuer l'intensité d'un effort que l'on doit fournir. Il y a un inconvénient à cette technique : plus on réduit l'intensité de l'effort, plus on augmente sa durée. À vélo par exemple, lorsqu'on utilise les plus petits développements (ou vitesses), on doit pédaler beaucoup plus longtemps pour arriver au même endroit.

Pour démultiplier une force, on utilise des outils tels que les poulies, les treuils, ou encore comme dans le cas du vélo, les engrenages.

**LES MANIPS**

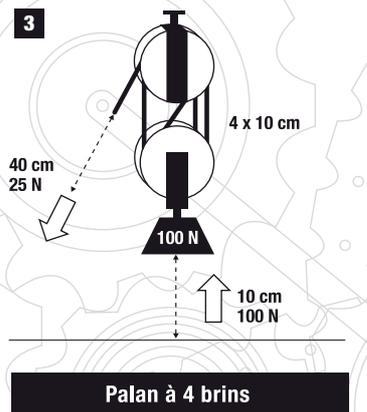
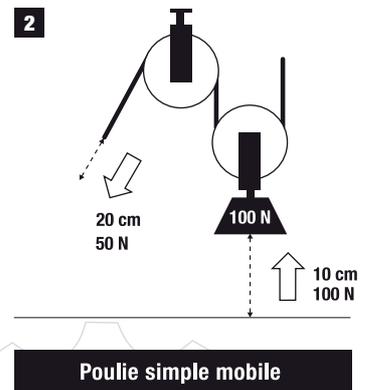
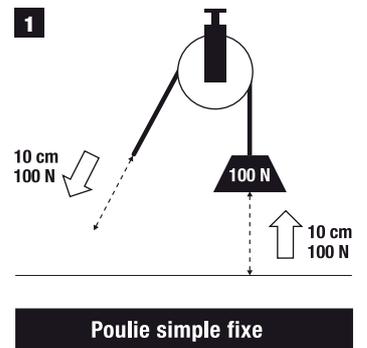
**Multiplie les tours, démultiplie ta force**

L'élève commence à se familiariser avec le phénomène de démultiplication en hissant une charge de 16 kg avec différents assemblages de poulies :

- 1) une poulie fixe,
- 2) une poulie fixe et une poulie mobile,
- 3) un palan constitué de deux poulies fixes et deux poulies mobiles.

L'élève essaie consécutivement les trois systèmes. Il constate que l'effort fourni pour hisser la charge avec le palan constitué de 4 poulies est moindre (4 fois plus petit). En revanche, cela oblige à tirer une plus grande longueur de corde (4 fois plus).

Dans les trois cas, on fournit la même énergie (le même travail) mais de façon différente : effort intense et court dans le premier cas, effort plus faible mais plus long dans le deuxième.



Notions abordées

- transformation du mouvement
- force et énergie

---



---



---



---



Pignons et plateaux pour faire travailler la tête et les jambes...

## Pignons et plateaux : pour foncer ou se ménager

Deux systèmes d'engrenages reliés par une chaîne et commandés par deux manivelles permettent de hisser une charge de 3 kg. L'un correspond à un réglage des vitesses du vélo « petit plateau / grand pignon » et l'autre « grand plateau / petit pignon ». Le but est de comparer ces deux réglages. On constate qu'il est plus facile de porter la charge avec le petit développement, mais il faut aussi faire plus de tours de manivelle. L'énergie – ou travail – nécessaire pour hisser la charge est pourtant toujours la même, mais l'effort est démultiplié sur un plus grand nombre de tours de manivelle.

## À chaque roue sa façon de tourner

Sur un vélo, cette fois, l'élève passe les vitesses en fonction de la difficulté de pédalage (choisie par l'animateur). Ses performances sont retransmises directement sur un écran et les autres élèves peuvent lui donner des conseils en fonction de sa cadence, son rythme cardiaque...

L'élève doit trouver la démultiplication qui lui semble idéale, c'est-à-dire celle qui réduit l'effort à fournir, sans pour autant obliger à faire un trop grand nombre de tours de pédale.



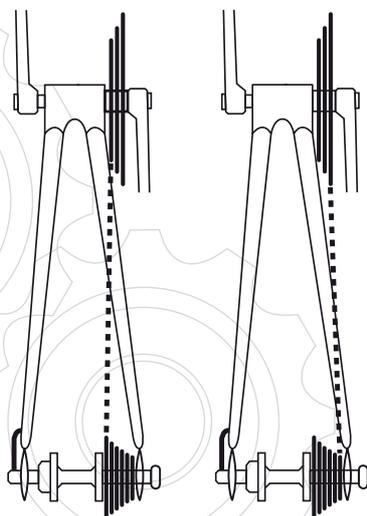
### Remarque

Ce développement idéal ne sera pas forcément le même pour un autre élève.

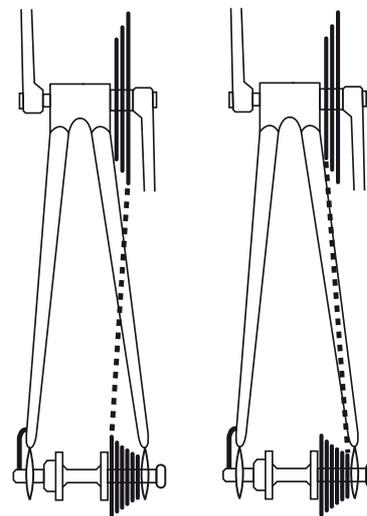
## CONSEIL DE PROS !

De la bonne utilisation d'une chaîne de vélo, des plateaux et des pignons...

### Tout bon !



### Tout faux !



EFFORT ET DOULEUR

4

vélo  
sciences  
LE TOUR DE LA QUESTION

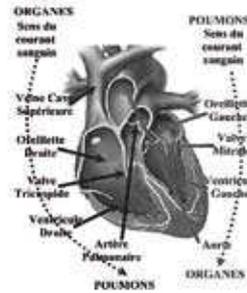
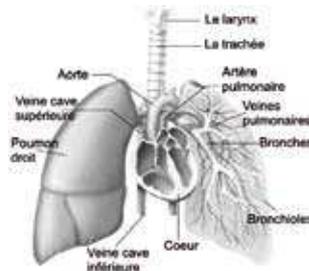
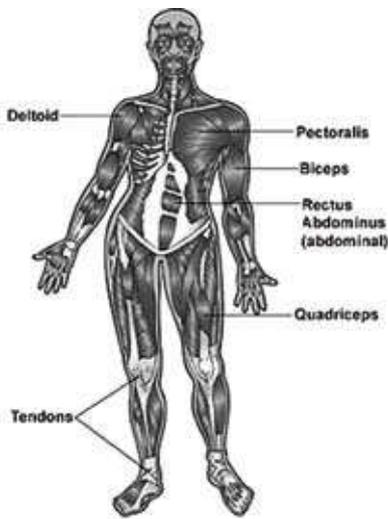
**POUR COMMENCER**

**Effort et douleur**

On connaît deux origines physiques à la douleur ressentie pendant un effort :

- les muscles et les articulations (origine locale),
- le système respiratoire et le cœur (origine centrale).

Il existe un savant mélange entre ces deux causes.



Pendant un effort, une douleur peut apparaître, à cause de :

- l'accumulation de déchets dans les muscles (locale),
- une circulation insuffisante (centrale),
- une respiration insuffisante (centrale),
- une chute de l'énergie dans les muscles (locale),
- une augmentation de la température (centrale).

L'effort d'un sportif est en général mesuré grâce à deux techniques :

- le suivi de la fréquence cardiaque,
- la mesure des déchets engendrés par l'exercice et stockés dans les muscles (acide lactique).

Ces paramètres sont les indicateurs objectifs (physiologiques) de l'effort fourni.

Des chercheurs développent aujourd'hui une autre technique de mesure de la perception de l'effort, basée sur le constat qu'un sportif peut assez précisément mettre une note de 0 à 20 sur sa douleur. Cette perception est dite subjective (psychologique) et se révèle aussi précise que la perception objective.

Notions abordées

- réaction du corps humain à l'effort
- énergie et travail

---



---



---



---

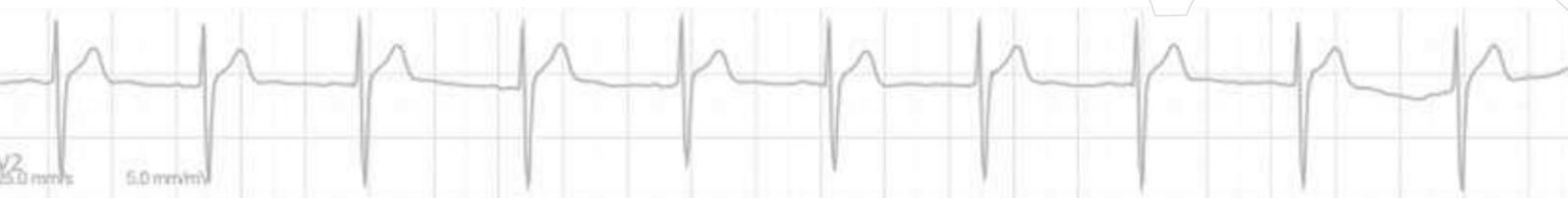
**LES MANIPS**

**Passé le col**

Cette manip a été réalisée en collaboration avec les chercheurs en sciences du sport de l'université de Franche-Comté d'après leurs travaux sur la perception de l'effort. Elle a déjà été exploitée dans la fiche pédagogique sur les forces. Ici, elle permet de mettre en évidence le lien entre l'énergie fournie, l'effort réel et l'effort ressenti.



**1** Grâce à un vélo relié à un ordinateur d'entraînement, on simule un chemin pentu à gravir. Un cycliste prend le chemin le plus direct et arrive exténué au sommet, tandis que celui qui passe par les chemins détournés met plus de temps mais arrive moins fatigué. Ils ont pourtant fourni la même énergie – ou le même travail.



## ÉCHELLE DE PERCEPTION DE LA DOULEUR

— 0	RIEN DU TOUT	pas de douleur
— 0,3		
— 0,5	EXTRÊMEMENT FAIBLE	à peine perceptible
— 1	TRÈS FAIBLE	
— 1,5		
— 2	FAIBLE	légère
— 2,5		
— 3	MODÉRÉE	
— 4		
— 5	FORTE	pénible
— 6		
— 7	TRÈS FORTE	
— 8		
— 9		
— 10	EXTRÊMEMENT FORTE	“douleur max.”
— 11		
— 12		
— MAXIMUM absolu		plus élevée possible

**2** On note ensuite la fréquence cardiaque d'un cycliste fournissant un effort qui augmente régulièrement. Le cycliste utilise une échelle de perception de l'effort (PE) allant de 0 à 12 pour décrire sa fatigue. L'élève compare



les deux courbes et constate qu'elles sont très proches. La perception que l'on a de son effort est donc très proche de la réalité. De plus, plus le cycliste est entraîné, plus sa perception subjective de l'effort se rapproche de sa perception objective.

Cette technique est utilisée par les entraîneurs car elle leur permet de donner des instructions simples (*tu me fais 5 mn de course en PE 15/20*). Les sportifs peuvent aussi choisir de réaliser un effort proche de la douleur ressentie en compétition et tenter de la réduire.



# INERTIE, ÉNERGIE CINÉTIQUE et EFFET GYROSCOPIQUE



vélo  
sciences  
LE TOUR DE LA QUESTION



© CIO / Y. Nagaya

La patineuse tend les bras pour ralentir sa vitesse de rotation.



Gyroscope.

## POUR COMMENCER

### Inertie

Qu'il bouge ou qu'il soit à l'arrêt, un objet s'oppose toujours au changement de son mouvement. Ce principe s'appelle l'inertie et dépend de la masse et de la vitesse de l'objet. Plus il est lourd et rapide, plus son inertie est grande. L'inertie d'un objet dépend aussi de la répartition de sa masse. Dans le cas d'une roue en rotation, plus la masse est concentrée sur la périphérie de la roue, plus la force d'inertie est grande.

### Effet gyroscopique

L'effet gyroscopique repose sur ce principe d'inertie. Une fois lancé, le gyroscope résiste à tout changement de mouvement. Si on tient le gyroscope horizontalement par une seule de ses extrémités, il défie la gravité et maintient son axe horizontal au lieu de tomber, comme on pourrait s'y attendre. L'extrémité libre de l'axe décrit lentement un cercle dans un plan horizontal : c'est la précession.

## LES MANIPS

### Fauteuil tournant

Installé dans un fauteuil, l'élève accroche des masses autour de ses poignets. On fait ensuite tourner le fauteuil et l'élève doit approcher ou éloigner les bras de son corps. Il constate que la rotation accélère nettement lorsqu'il rapproche les bras, mettant en évidence le rôle de la répartition des masses dans la vitesse d'un objet en rotation.



### Inertie et industrie

#### Bols et tapis vibrants

Ce film vise à donner une idée de l'application de l'inertie dans le monde industriel.

### Raquettes

#### Mise en pratique du tapis vibrant

Pour comprendre comment fonctionnent les tapis vibrants, on utilise des raquettes dans les coins desquelles on place des objets plus ou moins lourds. Il faut amener ces objets au centre de la raquette en trois coups. L'élève constate que l'inertie de l'objet le fait rester sur place alors que c'est la raquette qui bouge en dessous. Plus l'objet est lourd, plus il reste en place et plus il est facile de placer le centre de la raquette sous l'objet.



### Notions abordées

- masse, vitesse et inertie
- effet gyroscopique
- précession

---



---



---



---



# INERTIE et EFFET GYROSCOPIQUE



## Des roues imprévisibles

L'élève tient une roue en rotation entre ses bras tendus. Quand on tente de pencher la roue dans une direction, elle semble résister. C'est l'effet gyroscopique.

## Toupies et gyroscopes

Les élèves sont invités à essayer toutes sortes de toupies et de gyroscopes pour comprendre l'inertie et l'effet gyroscopique. On peut aussi mettre la précession en évidence en attachant le gyroscope par l'un de ses côtés. Il décrit un cercle autour du point d'attache.



# RÉSISTANCE DE L'AIR

# 6

vélo  
sciences  
LE TOUR DE LA QUESTION

## POUR COMMENCER

Pour étudier la résistance de l'air sur le cycliste, il faut connaître un certain nombre de paramètres :



### La vitesse du cycliste

Par temps calme, la résistance de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse du cycliste. En cas de vent contraire, il faut encore compenser la vitesse du vent !



### Les conditions atmosphériques

La masse volumique de l'air est plus faible par temps chaud et humide. C'est donc dans ces conditions que la résistance de l'air sera la plus faible.



### Le profil aérodynamique

La résistance de l'air est proportionnelle à la surface frontale et au coefficient aérodynamique du cycliste.

### Remarque

Le poids du cycliste ne joue absolument pas sur la résistance de l'air.  
En revanche, il joue un rôle important dans le frottement du vélo sur la route.



© J. Derich

## LES MANIPS

### Se faire tout petit

On a déjà tous constaté qu'à vélo l'effort est beaucoup moins grand lorsqu'on se protège du vent. Il existe deux techniques pour se protéger de la résistance liée au vent : rouler juste derrière un autre cycliste ou se mettre dans une position qui offre le moins de surface de résistance.

### Le peloton

Le cycliste qui roule au milieu d'un peloton consomme environ entre 30 et 40 % d'énergie de moins que quand il pédale devant le peloton, dans le vent. Une petite manip toute simple permet de mettre ce phénomène en évidence. Des petites figurines de cyclistes, montées sur ressorts, sont placées derrière un tube dans lequel on insuffle de l'air. Suivant la manière dont on place les cyclistes les uns par rapport aux autres, les figurines penchent plus ou moins sur leur ressort.



### Notions abordées

- vitesse
- surface
- aérodynamique
- climat et pression atmosphérique

---



---



---