

La modélisation en mécanique

En quoi les outils d'enseignement utilisés en mécanique permettent-ils d'améliorer l'appropriation du concept de force ?

Cécile BELOT – Collège de l'Arc à Dole
Frédéric GUERINET – Lycée Duhamel à Dole

Résumé

- **Contexte** : Analyse de l'évolution des savoirs des élèves sur le concept de force en 3^e et en 2nde GT
- **Niveaux concernés** : 3^e et 2nde GT
- **Thème du programme** : Mouvement et interactions

Cette ressource intègre :

- Une évaluation proposée aux élèves en début et en fin d'apprentissage en mécanique, en classe de 3^e et de 2nde GT.
- L'analyse des résultats obtenus avant et après les temps d'apprentissage.
- La description et les ressources associées aux séquences d'apprentissage.

Objectifs d'apprentissage

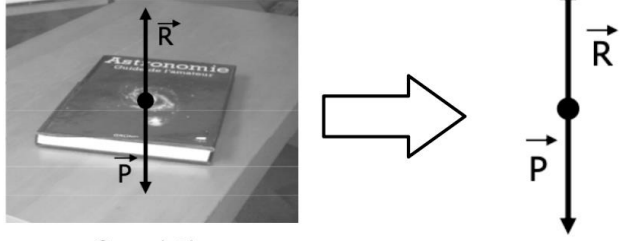
- **Référentiel de « Cycle 4 »**

Modéliser une action exercée sur un objet par une force caractérisée par une direction, un sens et une valeur	
Identifier les actions mises en jeu (de contact ou à distance) et les modéliser par des forces. Exploiter l'expression littérale scalaire de la loi de gravitation universelle, la loi étant fournie. - Action de contact et action à distance. - Force : direction, sens et valeur. - Force de pesanteur et son expression $P=mg$.	L'étude mécanique d'un système peut être l'occasion d'utiliser les diagrammes « objet-interaction ». Expérimenter des situations d'équilibre statique (balance, ressort, muscles). L'étude de la loi de gravitation est l'occasion d'aborder qualitativement la notion d'interaction. Pesanteur sur Terre et sur la Lune, différence entre poids et masse (unités). L'impesanteur n'est abordée que qualitativement.

- **Référentiel de 2de GT**

Modélisation d'une action par une force	Modéliser l'action d'un système extérieur sur le système étudié par une force. Représenter une force par un vecteur ayant une norme, une direction, un sens.
Caractéristiques d'une force. Exemples de forces : force d'interaction gravitationnelle ; poids ; force exercée par un support et par un fil.	Distinguer actions à distance et actions de contact. Représenter qualitativement la force modélisant l'action d'un support dans des cas simples relevant de la statique.

Points de vigilance préalables

<p>Modélisation du système étudié par un point</p>	<p style="text-align: center;">Ne pas superposer le monde réel avec le monde des modèles</p> <p style="text-align: center;">Le système étudié (le livre) est modélisé par un point</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">On exclut la représentation des forces sur une situation « réelle »</p> <p style="text-align: center;">D'où la « disparition » du point d'application dans les programmes</p>
<p>Vocabulaire avec le sens du mot « force »</p>	<p>La notion de force, introduite en dynamique pour « expliquer » le mouvement des objets, donne lieu également à de nombreuses conceptions erronées, puisque la « force » renvoie à des idées liées à la vie courante. Ainsi, les élèves pensent souvent (sans l'exprimer de façon explicite) qu'une force ne peut être exercée que par un être vivant. La force peut être aussi associée à la puissance ou à l'énergie, dans un mélange de concepts qui renvoie là encore à des conceptions erronées.</p> <p>Quant à l'action exercée sur un objet, elle nécessiterait, toujours selon ces conceptions erronées, un corps vivant pour être exercée ; cela rend difficilement concevable alors l'existence d'une force telle que la tension exercée par d'un fil, puisque le fil n'est pas « vivant ». La notion clé de modélisation d'une action par une force est parfois difficile à appréhender, d'autant que les élèves considèrent souvent que la force est une propriété intrinsèque de l'objet, tout comme son mouvement.</p> <p><i>Eduscol :</i> <i>Réussir en mécanique du cycle 3 au cycle terminal du lycée</i> <i>Les conceptions initiales en mécanique</i></p>
<p>Différence entre la réaction du support et l'action de la Terre</p>	<p style="text-align: center;">Action du sol vs action de la Terre</p> <p>En début d'apprentissage il n'est pas évident pour tous les élèves de bien distinguer le sol et la Terre dans l'analyse des actions. Cette distinction est en effet dictée par l'analyse des interactions. Ainsi dans la vie quotidienne il est courant s'associer sol et Terre : on peut dire qu'un objet est attiré au sol lors d'une chute. Pour un objet posé sur le sol la distinction est pourtant essentielle si l'on souhaite étudier les forces exercées sur cet objet. Le sens de chacune de ces actions permet de légitimer la distinction entre le système sol (qui reste difficile à délimiter) et le système Terre.</p> <p><i>Eduscol : Les conceptions initiales en mécanique</i></p>
<p>Adhérence force / vitesse</p>	<p style="text-align: center;">Progressivité des apprentissages ; l'exemple de l'« adhérence force-vitesse »</p> <p>L'idée que pour maintenir un objet en mouvement, il est nécessaire d'exercer en permanence une force est profondément ancrée dans les représentations des élèves, voire même des étudiants. Vaincre ces représentations n'est pas simple, cela passe par une bonne compréhension et assimilation du principe d'inertie qui exige de la part des élèves un certain niveau de conceptualisation et d'abstraction. Cela conduit aussi, sur le plan pédagogique, à proposer régulièrement aux élèves, au cours de la scolarité, des situations de mécanique permettant de faire le point sur cette problématique. L'objectif des ressources autour du thème « adhérence force-vitesse » est de proposer des pistes qui permettent l'aborder depuis le cycle 4 jusqu'à la classe de terminale en complexifiant progressivement le contexte de travail.</p> <p><i>Eduscol :</i> <i>Réussir en mécanique du cycle 3 au cycle terminal du lycée</i></p>

Scénario pédagogique – En classe de 3^e

Proposition de progressivité des apprentissages au cycle 4

Compétences associées	Connaissances associées	5ème	4ème	3ème
Mouvement et interactions				
Modéliser une interaction par une force caractérisée par une direction, un sens, une valeur				
Identifier les interactions mises en jeu (de contact ou à distance) et les modéliser par des forces	Action de contact et action à distance Force : direction, sens et valeur Force de pesanteur et son expression $P = mg$	<ul style="list-style-type: none"> - Définir une action / une interaction - Identifier une action à distance / de contact - Identifier les objets qui agissent sur l'objet étudié (système) 	<ul style="list-style-type: none"> - Définir une action / une interaction - Identifier une action à distance / de contact - Identifier les objets qui agissent sur l'objet étudié (système) - Construire un diagramme objet interactions - Définir une force - Donner les caractéristiques d'une force - Calculer la longueur du segment fléché à partir de l'échelle donnée - Modéliser une action par une force 	<ul style="list-style-type: none"> - Définir une interaction comme une action entre deux corps - Identifier les acteurs (qui agit / qui subit) - Définir / identifier une interaction de contact / à distance - Modéliser une action par une force : segment fléché (point d'application, sens, direction et valeur mesurée avec le dynamomètre) - Donner l'unité de la valeur de la force - Mesurer un poids, la valeur d'une force - Caractériser le poids et la masse en tant que grandeurs physiques - Distinguer poids et masse - Écrire et utiliser la relation de proportionnalité entre le poids et la masse

En classe de 3^e, les élèves vont retravailler plusieurs objectifs abordés antérieurement autour du concept de force :

- la construction d'un diagramme objet-interaction afin d'identifier les actions exercées sur un système ;
- la modélisation des actions par des forces.

Ces éléments sont enrichis par la notion de poids.

La séquence pédagogique, qui intègre ces objectifs d'apprentissage, est conduite sous forme de plan de travail. Elle s'intitule : « **Poids et gravitation** » et est structurée en cinq activités :

- 1) Caractériser le poids et la masse en tant que grandeurs physiques
- 2) **Le poids : une force**
- 3) Quelle est la relation qui relie le poids et la masse ?
- 4) Utiliser la relation entre poids et masse
- 5) Gravitation universelle

Chapitre U1 – Poids et gravitation
Plan de travail

Accès au PADLET

1

Caractériser poids et masse en tant que grandeurs physiques

Activités obligatoires

- Activité 1.1 : Consulter les documents proposés et répondre aux questions (→ à faire valider)
- Activité 1.2 : Compléter le tableau des grandeurs dans la partie outils méthodologiques (→ à faire valider)
- Activité 1.3 : Exercices en ligne (→ accès sur le Padlet)

3

Quelle est la relation qui relie le poids et la masse ?

Activité obligatoire – En groupe

- Activité 3 : Relation entre poids et masse sur Terre

Compte-rendu évalué - À transmettre au professeur en AIRDROP

5

Gravitation universelle

- Activité 5.1 : Regarder la vidéo (→ accès sur Padlet)
- Activité 5.2 : Leçon à recopier sur feuille de couleur (→ accès sur Padlet)
- Activité 5.3 : L'ISS – Thomas PESQUET dans l'espace (→ à coller dans le cahier)

Durée : 4 séances

2

Le poids : une force

Activités obligatoires

- Activité 2.1 : Mesurer le poids et représenter des forces (→ à coller dans le cahier – correction sur le Padlet)
- Activité 2.2 : Leçon (→ à coller sur feuille de couleur)
- Activité 2.3 : Exercice (→ à coller dans le cahier / à faire valider)

4

Utiliser la relation entre poids et masse

Activités obligatoires

- Activité 4.1 : Relation entre poids et masse (→ à réaliser dans le cahier)
- Activité 4.2 : Leçon à recopier sur feuille de couleur (→ accès sur Padlet)
- Activité 4.3 : Exercice DNB (→ à coller dans le cahier – correction sur le Padlet)
- Activité 4.4 : Exercice (→ à faire sur feuille – travail évalué)

L'activité 2 intègre le travail autour du concept de force.

Les élèves disposent d'une tablette connectée à Internet. Le QR Code qui figure sur le plan de travail leur permet d'accéder à un mur numérique qui regroupe l'ensemble des ressources utiles.

Situation d'apprentissage n°1 - Mesurer le poids et représenter des forces

Dans cette activité, réalisée et corrigée en autonomie, les élèves doivent :

- mesurer le poids de leur trousse ;
- élaborer le diagramme objet-interaction appliqué à la trousse (aide : <https://youtu.be/MAasyzKnS5w?si=gytNK5vVVBm85A5K>)
- représenter les forces exercées sur la trousse (aide : <https://youtu.be/avfDCiXIOt4?si=1Svs8lyDTTgsp6od>)

Les élèves corrigent ensuite leur travail à partir d'une correction réalisée par l'enseignant :


<https://screenpal.com/watch/c0h3QNVAzeN>

Activité n°2.1
Mesurer le poids d'une trousse – Représenter des forces

1) **Utiliser** un dynamomètre (disponible au bureau) pour mesurer le poids de ta trousse.
Exprimer le résultat de la mesure par une phrase et une écriture codée.

2) **Réaliser** le diagramme objet-interactions appliqué à la trousse.

Aide n°1 (Padlet) :
construire un diagramme
objet-interactions

	Question 1	Question 2
		Diagramme objet interactions appliqué à la trousse
Phrase		
Écriture codée		

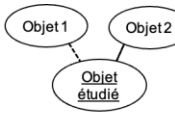
3) **Représenter** les forces qui s'exercent sur la trousse.
(1 cm représente 1N)

Aide n°2 (Padlet) :
représenter des forces

La leçon est ensuite distribuée aux élèves :

Activité 2.2 – Leçon à coller sur feuille de couleur

Pour rendre compte des actions exercées sur un objet, on modélise une situation réelle par un diagramme objet interaction.



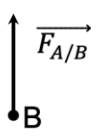
Pour construire ce diagramme :

- l'**objet étudié** est mis dans une bulle et son nom est souligné ;
- les **objets qui agissent sur l'objet étudié** sont mis dans des bulles ;
- une **action à distance** sur l'**objet étudié** est représentée par un trait en pointillés ;
- une **action de contact** sur l'**objet étudié** est représentée par un trait plein.



Une action est modélisée **par une force** qui est représentée **par un segment fléché**.

- Les caractéristiques de la force sont :
 - la **direction**
 - le **sens**
 - la **valeur en newton (symbole : N)**
- La flèche part du point qui modélise l'objet qui subit l'action.

La flèche qui représente la force est notée $\vec{F}_{A/B}$ qui signifie « force exercée par l'objet A sur l'objet B ».



Situation d'apprentissage n°2 – Représenter des forces (Exercice d'application)

Activité n°2.3 – Exercice		
	Diagramme objet-interactions appliqué à la chaise	Représentation des forces exercées sur la chaise
Bille qui roule sur une table 	Diagramme objet-interactions appliqué à la bille	Représentation des forces exercées sur la bille

Il est important de proposer aux élèves des situations autres que des situations d'équilibre afin de travailler sur l'adhérence force / vitesse.

Questions possibles d'élèves sur le cas n°2 : « Dans quel sens roule la bille ? »

Proposition d'élèves sur le cas n°2 :


Séance n°1 : Vers l'identification des acteurs

- Modalités : En groupe à effectif réduit (séance de TP d'1 h 30).
- Objectifs : identifier les acteurs, modéliser une action par une force et représentation d'une force.

1^{re} partie

- Activité documentaire reprenant la situation évoquée dans l'évaluation diagnostic : lancer d'une balle de ping-pong.
- Déroulé : Les élèves complètent, seuls les document (partie 1), un temps de mise en commun collectif est réalisé pour lever les points de blocage sur l'identification des acteurs (contact).

P5.TP1



MODÉLISER UNE ACTION PAR UNE FORCE

Partie 1 : Diagramme objet-interaction

Au début d'un échange de ping-pong le serveur prend la balle et la jette à la verticale vers le haut.

On étudie plus précisément la situation où on lance la balle à la verticale vers le haut. Le mouvement de son centre peut alors être décomposé en plusieurs phases successives : le lancer (tant que la main touche la balle), la montée, la descente et la frappe par la raquette.

1. Pour chaque phase, noter dans le tableau ci-dessous si le serveur exerce une action sur la balle. Lister le nom de tous les autres acteurs.

	Phase 1 : Lancer	Phase 2 : Montée	Phase 3 : Descente	Phase 4 : Frappe
Le serveur agit-il sur la balle ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
Liste des acteurs				

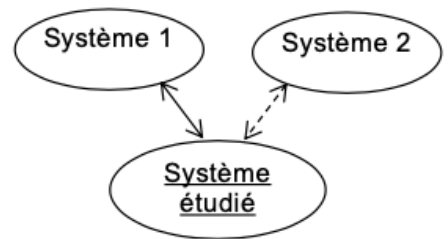
- Rappels collectifs (car non-présent dans les programmes) sur l'utilisation du diagramme système-interaction
- Représentation des diagrammes pour les 4 phases

Diagramme « système – interaction »



On appelle diagramme « système – interaction » la représentation schématique :

- du système étudié (qu'on souligne)
- de tous les systèmes avec lesquels il est en interaction
- de chaque interaction en indiquant si l'interaction est
 - o une interaction de contact : \longleftrightarrow
 - o une interaction à distance : $\langle \cdots \rangle$



2. Pour chaque phase du mouvement représenter le diagramme balle-interactions.
3. Entourer d'une même couleur les phases pour lesquelles les diagrammes balle-interactions sont identiques.

2^{de} partie

- Activité expérimentale utilisant une balle de ping-pong, un bécber et de l'eau
- Les élèves listent les acteurs et proposent une représentation de chaque force.

Partie 2 : Représentation des forces

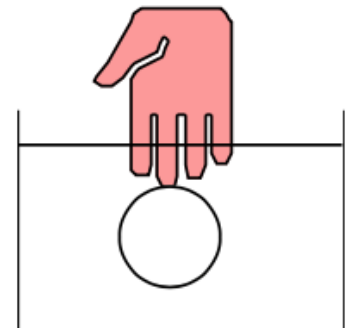
Réaliser les expériences et répondre aux questions correspondant aux situations 1 et 2 décrites ci-dessous

Situation 1 :

■ *Expérience : Maintenir immobile une balle sous l'eau.*

À l'aide du modèle des interactions :

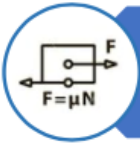
1. Faire **la liste** des acteurs agissant sur le système balle.
2. Représenter le diagramme balle-interactions dans cette situation ;
3. Chaque acteur exerce une action mécanique sur la balle, associer à chaque acteur le nom d'une force.
4. Pour chaque force, préciser la direction et le sens de chaque force.
5. Représenter, séparément chaque force exercée dans une des colonnes du tableau ci-après.



Situation réelle	Modélisation des actions mécaniques par des forces			
	Action de sur la balle			
	Nom de la force			
	Représentation de la force exercée sur la balle modélisée par un point	+	+	+

Séance n°2 : Applications

- Modalités : exercices en classe entière
- Objectifs : Identifier les actions mécaniques, modélisation par des forces, représentations, simplification du problème.



INTERACTIONS ET FORCES

Exercice 1 : QCM footballistique

Au cours d'un match de football, une faute est faite dans la surface de réparation. Un joueur est donc amené à tirer un penalty. Il pose le ballon sur le sol au point de penalty puis frappe dedans.

Dire si chacune des affirmations suivantes est vraie ou fausse. Justifier chaque réponse.

1. Dans un premier temps nous nous intéressons au moment même où le joueur tape dans le ballon.
 - a. Le joueur à cet instant est en interaction uniquement avec le ballon.
 - b. Le ballon est en interaction avec le joueur.
 - c. Le ballon est soumis à une force exercée par la Terre.
2. Dans un deuxième temps nous nous intéressons au parcours du ballon dans les airs pour parvenir dans la cage du gardien de but.
 - a. Le ballon est soumis à trois forces.
 - b. Le ballon exerce une force sur la Terre.
 - c. Le joueur qui a tiré le penalty exerce une force sur le ballon.
3. Dans un troisième temps nous nous intéressons à l'arrêt du ballon par le gardien de but
 - a. Le gardien de but est en interaction avec le ballon.
 - b. Le gardien de but exerce une force sur la Terre.
 - c. Le ballon exerce une force sur la Terre.

Exercice 2 : Interaction et schéma de force

Dans toutes les situations proposées **ci-dessous** (1a, 1b, 2, ...), les personnages et les accessoires sont immobiles. Pour toutes ces situations :

- a. Établir le diagramme système-interactions.
- b. Faire la liste des forces qui s'exercent sur le système.
- c. Représenter ces forces sur un schéma sans se soucier de la longueur des vecteurs. On considérera que toutes les forces sont verticales.

Le système étudié est souligné.

Situation 1a : Un haltérophile porte son haltère.

Situation 1b : Un haltérophile porte son haltère

Situation 2 : Un hockeyeur s'appuie sur sa crosse.

Situation 3 : un élève porte son cartable.

Situation 4 : un élève est en train de soulever son cartable.





MODÉLISER LES ACTIONS PAR DES FORCES

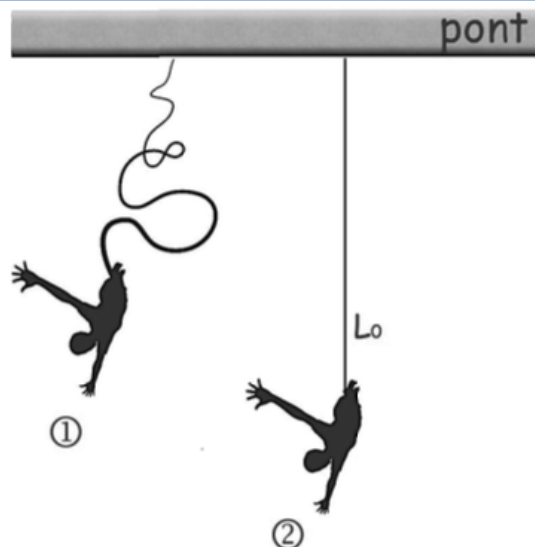
Le site du viaduc de la Soulevre

Source : <http://www.sautelastique.org/saut-elastique-viaduc-de-la-soulevre/>

Le Viaduc de la Soulevre dans le Calvados est un pont haut de 62,5 mètres qui servait pour la liaison en train entre Vire à Cain. Il a été construit en 1889 selon les plans de Gustave Eiffel. Le Viaduc de la Soulevre n'est maintenant constitué que de cinq piliers, le tablier ayant été volontairement cassé pour des raisons de sécurité.



Déroulement du saut : Après s'être élané, voici quelques schémas représentant le saut.



Remarque : Un élastique se comportera comme un ressort mais par contre **il n'agit que quand il est tendu.**

Étude de la situation ① du schéma :

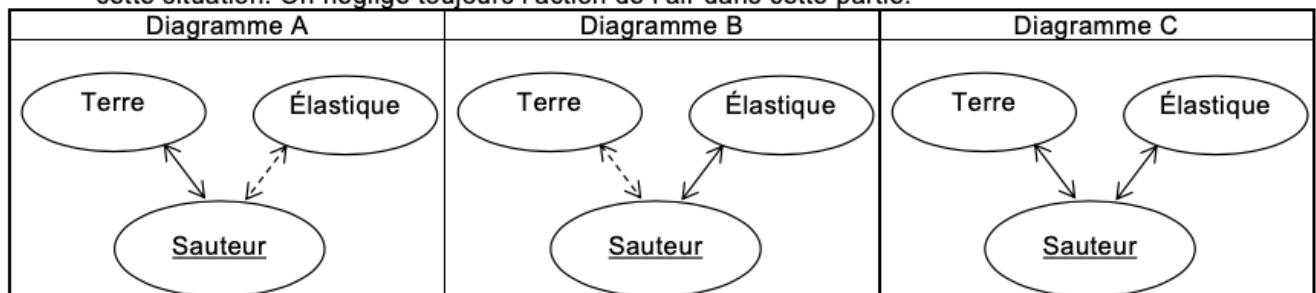
Au cours de cette phase, l'élastique n'est toujours pas tendu et l'action de l'air est négligeable devant l'(les) autre(s) action(s).

- 1) Établir le diagramme {sauteur}-interaction au cours de la phase ①.
- 2) Représenter sur un schéma la(les) force(s) qui modélise(nt) la(les) action(s) dans cette situation. On représentera le système étudié par un point.

Étude de la situation ②

Comme indiqué sur le schéma, le sauteur est situé au point le plus bas, l'élastique étant **tendu**.

- 3) Choisir, en justifiant le choix sur votre copie, parmi les diagrammes suivants celui qui correspond à cette situation. On néglige toujours l'action de l'air dans cette partie.



Mécanique - Étude d'une situation



Un enfant s'amuse à lancer un ballon en l'air, à la verticale, au-dessus de sa tête.

1) **Expliquer** ce que signifie le mot « force », en physique.

2) **Cocher** la (ou les) proposition(s) qui définissent les forces exercées sur le ballon :

- l'élan donné au ballon par l'enfant
- la puissance de l'enfant
- la modélisation des actions exercées sur le ballon
- la vitesse du ballon

3) **Identifier** les actions exercées sur le ballon, lors de la phase ascendante et quand le ballon a quitté la main de l'enfant :

- l'action de la Terre sur le ballon
- l'action de l'enfant sur le ballon
- l'action de l'air sur le ballon
- l'action du sol sur le ballon

4) **Identifier** les actions exercées sur le ballon, lors de la phase descendante et avant que le ballon touche le sol :

- l'action de la Terre sur le ballon
- l'action de l'enfant sur le ballon
- l'action de l'air sur le ballon
- l'action du sol sur le ballon

5) **Identifier** les actions exercées sur le ballon lorsqu'il atterrit sur le sol :

- l'action de la Terre sur le ballon
- l'action de l'enfant sur le ballon
- l'action de l'air sur le ballon
- l'action du sol sur le ballon

Ressources

Eduscol : Réussir en mécanique du cycle 3 au cycle terminal du lycée :

<https://eduscol.education.fr/document/16147/download>

Eduscol : Les conceptions initiales en mécanique :

<https://eduscol.education.fr/document/22858/download#:~:text=Si%20les%20id%C3%A9es%20initiales%20des,les%20%C3%A9l%C3%A9ments%20r%C3%A9currents%20et%20coh%C3%A9rents>

Académie de Lyon : webinaire sur la modélisation : <https://physique-chimie.enseigne.ac-lyon.fr/spip/spip.php?article1201>