

Maquettes sensorielles en énergétique

Première partie

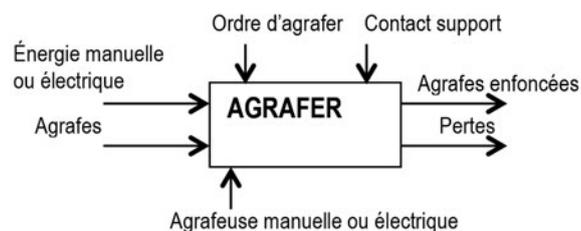
YVES BRACCINI, ROBERT GOURHANT [1]

Qu'est-ce que l'énergie ? Cet article montre comment ce concept prend du sens à travers la perception ressentie lors de manipulation de maquettes didactiques en énergétique.

Au-delà du terme générique, sous quelles formes l'énergie est-elle utilisée et/ou consommée par les systèmes ? Quels sont les paramètres influant sur sa grandeur ? Ces questions se posent aux élèves de STI2D sous une forme souvent abstraite.

L'apport énergétique à travers la comparaison de deux systèmes

Pour effectuer la comparaison entre deux produits (l'agrafeuse manuelle et l'agrafeuse électrique, **1**) vis-à-vis de l'apport énergétique, nous allons proposer à l'élève d'effectuer plusieurs expérimentations à l'aide de maquettes sensorielles modélisant les systèmes étudiés, afin d'identifier ce qui est commun et ce qui est différent du point de vue de l'énergie.



1 Deux produits : une même fonction

L'agrafeuse manuelle **2** utilise la remontée du percuteur (**2, 3**), sous l'action de la force F de l'utilisateur sur un levier **4**, pour comprimer un ressort **5**. Ce ressort, qui se détend brusquement en fin de relevage (échappement du levier), libère l'énergie nécessaire à l'agrafage.

Le système demande un effort manuel qui entraîne – pour une utilisation répétitive – une fatigue de l'utilisateur.

[1] Co-inventeurs des « Maquettes didactiques sensorielles de liaisons mécaniques », les auteurs poursuivent et prolongent ici la mise en œuvre de leur démarche kinesthésique exposée dans la revue *Technologie* pour l'étude des « Liaisons » en statique (n°s 134 et 137) et pour celle des « Poutres » en résistance des matériaux (n°s 161 et 162).

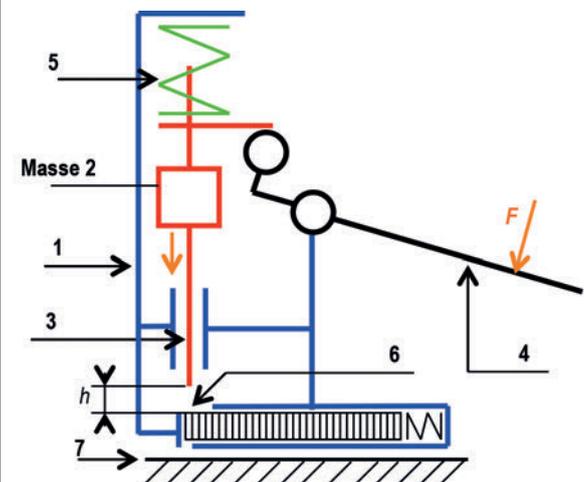
mots-clés
dynamique, énergétique, modélisation, pré-bac, démarche pédagogique

Comment percevoir et identifier ces grandeurs physiques, par des manipulations, sans danger pour l'utilisateur ? Les expérimentations sensorielles qui suivent peuvent être menées selon une démarche inductive ou d'investigation.

Percevoir l'énergie

Nous allons d'abord percevoir l'effet de la pesanteur sur le percuteur de l'agrafeuse.

Dans ce TP, les deux élèves – qui travaillent en binôme – disposent la maquette verticalement. Elle est constituée **3** d'une poignée de guidage **1** (avec ou sans frottement), d'une poignée-frein réceptrice **2** – centrée sur un tube transparent **3** lié à **1**, mobile dans la direction axiale vers le bas –, d'un arbre **4** équipé de disques **5** (masses m plus ou moins importantes). Voici un mode opératoire constitué de deux expériences.

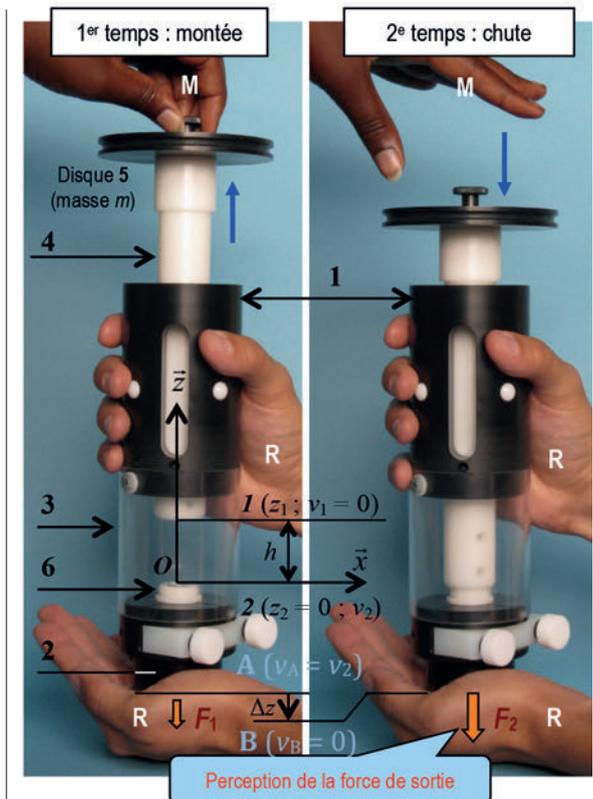


2 Agrafeuse manuelle, schéma cinématique

Expérience 1

En phase de montée, l'élève moteur M soulève le système (S) = {**4, 5**} (poids mg) d'une hauteur h , c'est l'énergie d'entrée dans la maquette (système isolé).

En phase de chute, l'élève moteur lâche (S). L'élève récepteur R tient la poignée de guidage **1** d'une main et la poignée réceptrice **2** de l'autre, dos de la main posée sur une table avec un tapis souple. Il entend un choc et sent une force verticale F_2 , supérieure à F_1 (poids de



3 Maquette sensorielle énergétique

la poignée **2**), perçue par les capteurs sensoriels de la paume de la main. Il observe aussi un déplacement Δz de la poignée vers le bas, lié au tassement des tissus de la main. C'est l'image de l'énergie de sortie de (S).

Le binôme renouvelle l'expérience avec des masses identiques et une même hauteur de chute, mais l'élève récepteur ne pose pas sa main ; elle devient libre de descendre. Il entend un choc moins fort, perçoit une force moins grande et observe un déplacement Δz plus grand. Comme rien n'a changé du côté de l'énergie d'entrée ou au sein du système isolé, la grandeur de sortie est la même. Il en déduit qu'il y a une relation entre la course plus grande et la force plus faible. Le produit des deux – qui reste constant – caractérise la grandeur que l'on nomme « énergie mécanique », homogène à un travail : $W_{A-B} = F_2 \cdot \Delta z$ (en valeur absolue, avec F_2 constant) avec W_{A-B} en joules (J).

Expérience 2

Le binôme renouvelle l'expérience avec la main posée sur la table pour stabiliser les résultats, côté sortie. Il fait varier l'énergie d'entrée en modifiant un seul paramètre à la fois (hauteur h , poids mg des disques). L'élève récepteur perçoit que cette énergie augmente avec h et mg . Il peut alors identifier le concept de « variation d'énergie potentielle de hauteur », ΔE_{p1-2} , lié au travail du poids entre **1** et **2**. Dans le dossier ressource et/ou pendant la phase de synthèse, l'élève prend connaissance de la définition :

$$\Delta E_{p1-2} = mg \cdot (z_1 - z_2) \text{ ou } E_{p1} - E_{p2} = mgz_1 - mgz_2$$

Il peut maintenant l'interpréter en s'appuyant sur un comportement : ΔE_{p1-2} augmente avec le poids ou la hauteur de chute. La manipulation permet de passer du regard « photo » au regard « cinéma ».

En **2** (percussion), z_2 est nulle, l'énergie potentielle est nulle. Entre **1** et **2** a-t-elle disparu ? Paradoxalement, l'élève perçoit des effets sur la poignée, sous forme d'un travail $F_2 \cdot \Delta z$!

La résolution du paradoxe est que, lors de la chute, cette énergie potentielle s'est transformée en une autre forme d'énergie, liée à la vitesse de (S) = {**4**, **5**}. L'élève récepteur perçoit un choc plus grand lorsque la vitesse ou la masse de (S) augmente (un puis deux disques). Le dossier ressource donne l'expression de l'énergie cinétique E_k .

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{SR}^2$$

avec R référentiel galiléen.

Le binôme peut alors interpréter de façon comportementale cette définition.

Des expériences précédentes, par l'observation, l'élève a appréhendé la conservation de l'énergie mécanique E_m en phase de chute, lorsque les frottements sont négligés pendant la chute (rendement = 1) ; $W_{\text{entrée}} = W_{\text{sortie}}$, en valeur absolue.

L'expression $E_m = E_p + E_k = \text{Constante}$ prend un sens concret.

Dans la phase de freinage-agrafage, l'énergie est consommée lors de l'enfoncement de l'agrafe. La maquette isolée représente l'agrafeuse et son agrafe **6** qui s'enfonce dans le support **5** **2**. Cette phase est illustrée par la descente de la poignée, freinée par la main. L'énergie est évacuée dans le corps de l'utilisateur.

Dans une autre séquence, en appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre **A** (début de frappe, vitesse $v_A = v_2$) et **B** (fin de course Δz , vitesse $v_B = 0$), on montrera que la perte d'énergie cinétique est égale au travail résistant de la force F_2 de la main du récepteur sur la poignée.

L'agrafeuse doit aussi travailler contre un mur vertical et parfois au plafond ; comment suppléer à l'énergie potentielle de hauteur E_p , en tant qu'énergie motrice ?

L'élève constate qu'elle est apportée par le ressort de compression.

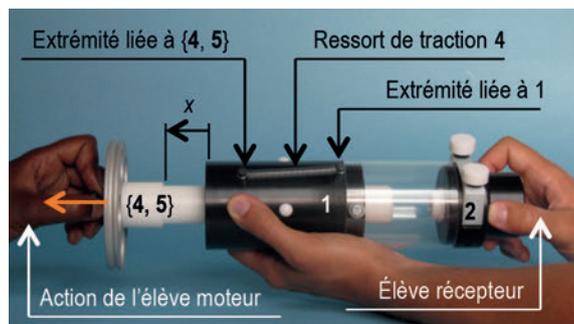
L'énergie potentielle d'élasticité

À travers une nouvelle expérience, l'élève doit percevoir l'énergie potentielle d'élasticité.

La maquette sensorielle est équipée d'un ressort de traction **4**. L'élève moteur étire le ressort (entrée de l'énergie) puis lâche **{4, 5}**. Le ressort se détend et l'élève récepteur perçoit l'énergie de sortie dans la poignée réceptrice **2**. En étirant de plus en plus le ressort (élongation x) et/ou en augmentant la rigidité k , la force croît (force $F = k \cdot x$), l'énergie stockée est plus importante. L'énergie potentielle d'élasticité, définie dans le dossier ressource, prend tout son sens :

$$E_{pA-B} = \frac{1}{2} F_{\max} \cdot f_{\max}$$

À partir du toucher, l'élève perçoit que l'augmentation de la force maximale entraîne un effort supplémentaire. Or, le levier de l'agrafeuse est limité en longueur, lié à la morphologie de la main. Pour réduire la fatigue, l'agrafeuse électrique constitue un saut qualitatif.



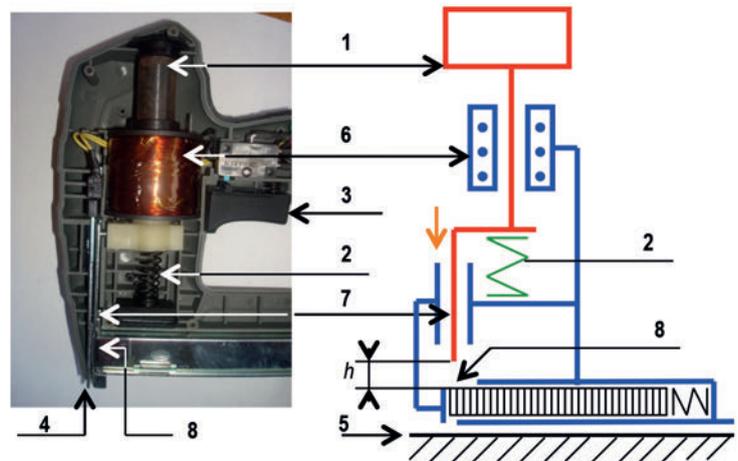
4 Maquette sensorielle avec ressort

L'agrafeuse électrique : comment économiser l'énergie ?

L'énergie musculaire apportée par l'utilisateur est remplacée par l'action d'une bobine et d'un apport extérieur d'énergie électrique.

Limiter les pertes électriques

Le dispositif de conversion de l'énergie **5** est constitué d'un noyau **1**, ayant une masse, soulevé par un ressort **2** et d'un électro-aimant **6**. Dès que l'utilisateur appuie sur la gâchette **3** et que le détecteur **4** est en contact avec le support **5** (sécurité), la bobine **6** est alimentée ; il se crée un champ magnétique et une force qui attire ce noyau **1**. L'ensemble **{1, 7}**, après avoir chuté d'une



5 Structure et schéma cinématique

hauteur $h = 30$ mm, entre en contact avec l'agrafe **8** et l'entraîne à vitesse élevée vers le matériau à assembler. L'énergie cinétique E_k de **{1, 7}** est consommée par le travail d'enfoncement de l'agrafe **8** dans son support **5**.

Dans ce TP, l'élève constate que l'énergie cinétique provient du travail de la force électromagnétique de la bobine. L'effet de percussion [2] est analogue à l'agrafeuse à ressort (voir TP précédent).

Cela permet de réduire la force et donc le nombre de spires de la bobine, c'est-à-dire les pertes par effet Joule. Il y a moins de courant consommé par rapport à un électro-aimant créant uniquement une force statique d'enfoncement.

C'est la réponse essentielle à la problématique posée.

Limiter les pertes d'énergie mécanique

Le rôle du ressort entre le noyau et le carter est d'assurer la remontée du noyau. Quel est son effet dans la chaîne énergétique ? Procédons à une nouvelle expérience.

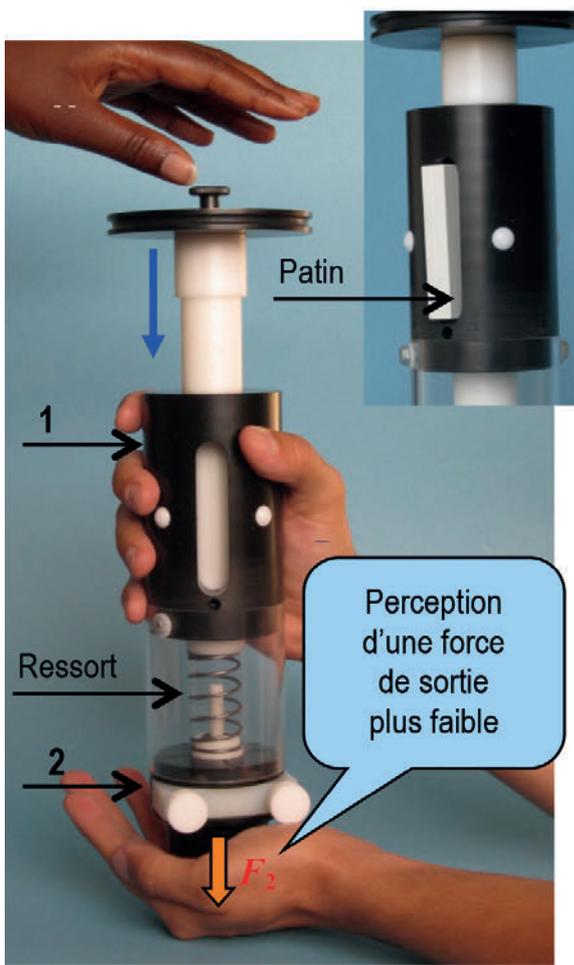
Dans la phase de découverte, l'élève intercale des ressorts de raideurs différentes sur la poignée réceptrice **2** **6**. Pour une même hauteur de chute, un même poids, il perçoit une énergie plus faible sur la poignée et observe un rebond : le ressort stocke une partie de l'énergie et la restitue pour remonter le noyau. C'est une énergie perdue pour la percussion. Il faut donc dimensionner le ressort pour remplir sa fonction avec des pertes minimales.

L'expérience suivante permettra de percevoir l'effet des frottements.

Le binôme poursuit son investigation. Il fait un premier essai sans frottement (hauteur h , poids mg), puis l'élève récepteur appuie sur un patin introduit dans la rainure verticale de la poignée **1** **6**. $(S) = \{4, 5\}$ est lâché d'une même hauteur, l'élève ressent qu'il y a moins d'énergie sur la poignée réceptrice **2**.

Interprétation : une partie a été consommée de façon irréversible par les frottements internes, transformée

[2] L'effet de percussion sera défini dans la partie « Dynamique » de l'approche sensorielle dans un prochain article.



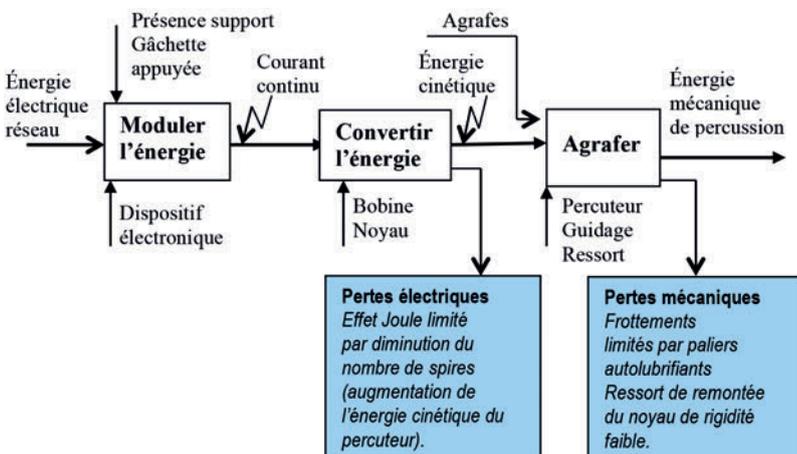
6 Amortissement du ressort et patin de frottement

en chaleur. Il n'y a plus de conservation de l'énergie, mais perte d'énergie mécanique.

$$W_{\text{entrée}} - W_{\text{pertes}} = W_{\text{sortie}} \text{ (rendement } < 1)$$

Solution : il faut limiter ces pertes pour augmenter le rendement (par exemple, utiliser des matériaux autolubrifiants pour les guidages).

La synthèse de l'étude de l'agrafeuse électrique est réalisée 7.



7 Synthèse énergétique

Transposer la démarche sur d'autres problématiques

La problématique de l'amortissement est inverse. Dans la voiture électrique Twizy, par exemple, pour assurer le confort des passagers, il est indispensable d'absorber l'énergie introduite par les chocs de la route sur une roue, avant qu'elle n'arrive sur le châssis.

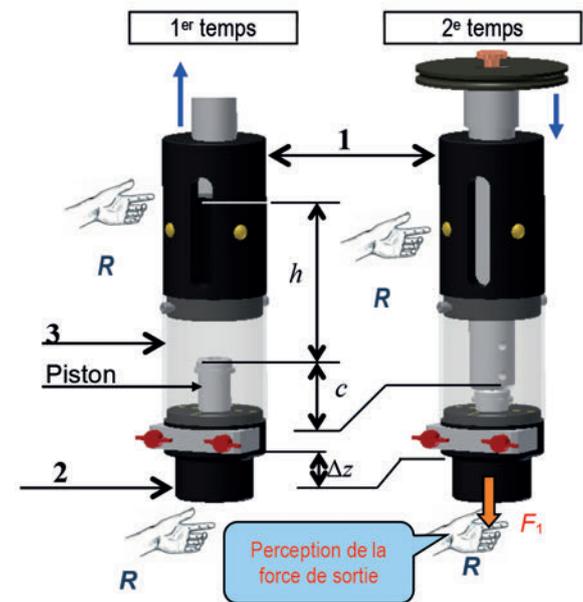
Afin d'appréhender l'amortissement, l'élève procède à l'expérience suivante. Le choc va être simulé par la chute de la masse contre la poignée réceptrice qui représente le châssis. L'élève intercale un élément amortisseur dans la chaîne cinématique. Il observe trois comportements :

1 : le ressort (énergie potentielle d'élasticité) stocke l'énergie, suivi d'un rebond gênant 6 ;

2 : le piston, freiné sur une course c (frottement sec), absorbe l'énergie sans rebond, quelle que soit la vitesse 8 ;

3 : l'amortisseur de choc hydraulique (non représenté) (frottement visqueux) absorbe l'énergie à vitesse élevée, mais l'effet est réduit à vitesse faible.

L'élève peut en déduire que la combinaison des moyens 1 et 3 donne des résultats satisfaisants.



8 Maquette avec piston amortisseur

En conclusion, la démarche peut être synthétisée de la façon suivante. L'approche multisensorielle (qualitative) des comportements prépare la modélisation numérique (quantitative) ; elle aidera à l'interprétation des résultats. L'apprentissage est ainsi plus concret et la mémoire du corps permet un meilleur ancrage des connaissances.

Cette approche s'articule autour de trois niveaux :
 - niveau 1, l'objet réel ;
 - niveau 2, la modélisation matérielle des maquettes qui donnent accès au comportement et à la perception (vue, ouïe, toucher) ;
 - niveau 3, la formalisation qui s'appuie sur les perceptions et permet de revenir au réel et/ou de transposer les résultats sur d'autres systèmes. ■