

## ÉTUDE DE CAS EN EE SI

# Bien vu, la pédale !

NICOLAS MALÉSYS, PASCALE COSTA <sup>[1]</sup>

*Les enseignements d'exploration, mis en place à la rentrée 2010, ont pour principaux objectifs de développer la curiosité des élèves et d'éclairer leur choix d'orientation. En sciences de l'ingénieur, le programme précise que l'étude de cas remplace les travaux pratiques.*

*À partir d'un support d'utilisation courante, à la fois simple et pluritechnologique, une pédale clignotante de vélo, voici une méthode de choix des différentes activités proposées aux élèves en relation avec les compétences requises par le Bulletin officiel.*

## Le support

L'étude de cas que nous proposons est basée sur le système Pedalite KPL200. Il s'agit d'une pédale équipée d'un système de visualisation par leds clignotantes qui permet aux automobilistes d'être avertis de la présence du vélo dans de mauvaises conditions de visibilité. La problématique liée à ce support est alors relativement simple : la plupart des élèves ayant suivi un stage de sensibilisation à la sécurité routière et possédant un vélo, il est évident pour eux que la visibilité des cyclistes est un enjeu important pour leur sécurité.

La Pedalite KPL200 dispose en particulier d'un système de réducteur à engrenages, d'une génératrice électrique

## mots-clés

énergie, orientation, prébac, sécurité, travaux pratiques

et d'une carte électronique gérant l'énergie et le clignotement des leds, autant de sous-systèmes qui permettent de détailler différentes notions proposées par le *Bulletin officiel* spécial n° 4 du 29 avril 2010 (voir l'encadré « En ligne ») : l'énergie, le traitement de l'information, les matériaux, le développement durable <sup>1</sup>. Il convient d'y ajouter l'utilisation d'une solution technologique nouvelle, le supercondensateur.

Autre point intéressant : le système est relativement petit, facilement démontable – et surtout remontable – par les élèves. Les pièces sont assez robustes (à part peut-être la carte électronique qu'il faudra manipuler avec un minimum de précaution). Tous les composants sont visibles, hormis la puce électronique cachée volontairement par le constructeur. Les élèves ont donc accès à tous les composants sans être obligés de passer par une modélisation volumique (dont ils disposent néanmoins).

Dernier point à ne pas négliger, le prix. Pour une cinquantaine d'euros, vous disposez non pas d'une mais de deux pédales puisqu'elles sont vendues par paires !

Pour conclure la présentation de ce support, ajoutons qu'il est breveté et qu'il a été récompensé par plusieurs prix de l'innovation.

## Le déroulement de l'étude

L'organisation que nous proposons, basée sur un taux hebdomadaire de deux heures, compte quatre phases, réparties en six séances <sup>2</sup> :

### ● Imprégnation

(1 séance de 2 heures)

Les élèves prennent connaissance du système, de son environnement et des relations système-environnement. Il en résulte l'élaboration par les élèves d'un cahier des charges fonctionnel, corrigé et complété en fin de séance par le professeur. Ce dernier pourra, durant cette phase, éveiller la curiosité des élèves en leur proposant des pistes de réflexion.

### ● Investigation

(2 séances de 2 heures)

Les élèves sont amenés à travailler sur un point particulier du cahier des charges établi durant la phase d'imprégnation. Le professeur s'efforcera de jouer le rôle de guide sans imposer ses (bons) choix afin de laisser libre cours au travail d'investigation du groupe.

### ● Restitution

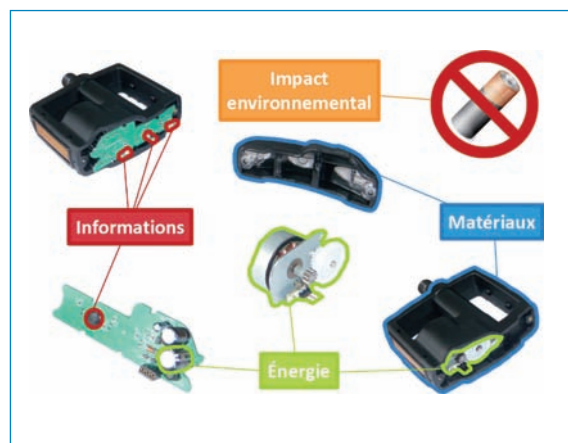
(2 séances de 2 heures)

Durant la première séance, les élèves doivent préparer une présentation orale de leurs travaux d'investigation. Le professeur présente les règles de base à respecter pour une présentation scientifique, guide les élèves dans la mise en place d'un plan scientifique plutôt que chronologique. Les exposés oraux se déroulent durant la seconde séance. Pour une implication de tous, chaque auditeur doit préparer quelques questions sur chaque présentation, et devra en poser une à la fin de chaque exposé. Le groupe qui présente devra s'efforcer d'y répondre au mieux. Le professeur veillera alors au bon déroulement de cette phase en complétant ou corrigeant les réponses données.

### ● Synthèse des connaissances

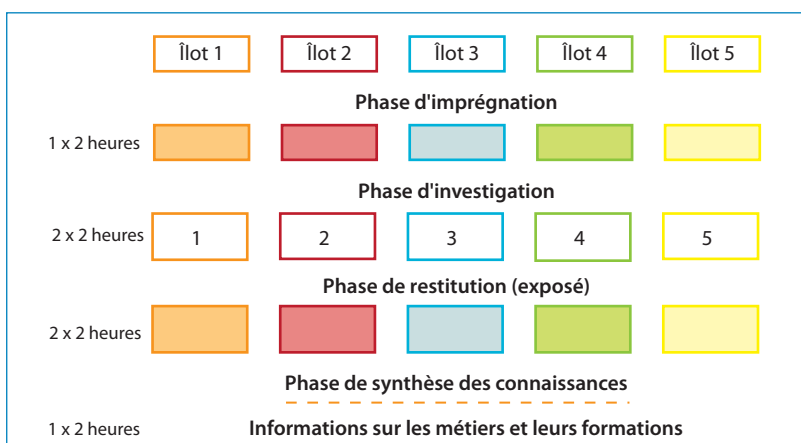
(1 séance de 2 heures)

Le professeur, à partir des travaux réalisés par les différents îlots, élabore des fiches présentant des notions scientifiques et techniques, des outils



## 1 Les notions abordées par l'étude de cas

<sup>[1]</sup> Respectivement professeur agrégé de mécanique au lycée Pasteur de Neuilly-sur-Seine (92), et professeure agrégée de génie électrique au lycée Raspail de Paris (75014).



## 2 L'organisation de l'étude de cas

ou des composants. Ces fiches tenteront d'être le plus générales possible, c'est-à-dire indépendantes du support et donc réutilisables pour d'autres études de cas.

### La phase d'imprégnation

Tous les élèves passent par une même phase d'imprégnation du support, d'une durée de deux heures. Toutefois, un regroupement par îlots des élèves est fortement conseillé, pour des raisons pratiques (le nombre limité de pédales) comme pédagogiques. En effet, la découverte du produit va nécessairement engendrer un questionnement chez les élèves, et un échange entre eux permettra l'émergence d'un ensemble de problématiques de manière beaucoup plus fructueuse qu'un travail individuel.

Durant cette phase, chaque îlot dispose d'une pédale, qu'il peut démonter et faire fonctionner comme bon lui semble. Il dispose aussi de l'emballage du produit. Des documents numériques (vidéos, animations, plaquette...) relatifs à la sécurité routière sont également présents dans le dossier de travail, ainsi qu'une version numérique du brevet déposé.

Au terme des deux heures, chaque groupe devra proposer une analyse fonctionnelle du système sous la forme d'un diagramme des interacteurs. Cette analyse sera complétée par un exposé des points à étudier pour que le système Pedalite KPL200 ne soit plus une « boîte noire ». De l'ensemble des exposés devrait logiquement pro-

céder le découpage des activités pour les séances à venir.

### La phase d'investigation

Après une rapide étude du système, il est tentant de proposer une organisation de la phase d'investigation autour de chacun de ses composants : un premier îlot travaillerait sur la production d'énergie, un deuxième sur la partie électronique, un troisième sur la transmission mécanique, etc. Mais cette approche va à l'encontre de la notion même de système pluri-technologique. En effet, pour un tel système, c'est plutôt révéler les liens entre les différentes technologies mises en œuvre qui importe. De plus, avec un tel découpage des activités, l'investigation prend un rôle secondaire dès le début de l'étude.

Le verso de l'emballage du produit **3** détaille les performances du système – pourquoi ne pas partir de là ? Voici les différents points que nous avons retenus pour nos différentes activités :

- Flash devant, derrière et sur les côtés lorsque vous commencez à pédaler pour une visibilité indispensable de 360°
- L'unique pédale qui continue à flasher 5 minutes après le pédalage
- Montage standard très simple sur les vélos pour adultes et pour enfants (à partir de 9 ans) – Surface antidérapante et dents d'excellente accroche
- Pas de piles, pas de maintenance : montez et oubliez !
- Solide et durable avec 1 an de garantie



## 3 L'emballage de la Pedalite KPL200

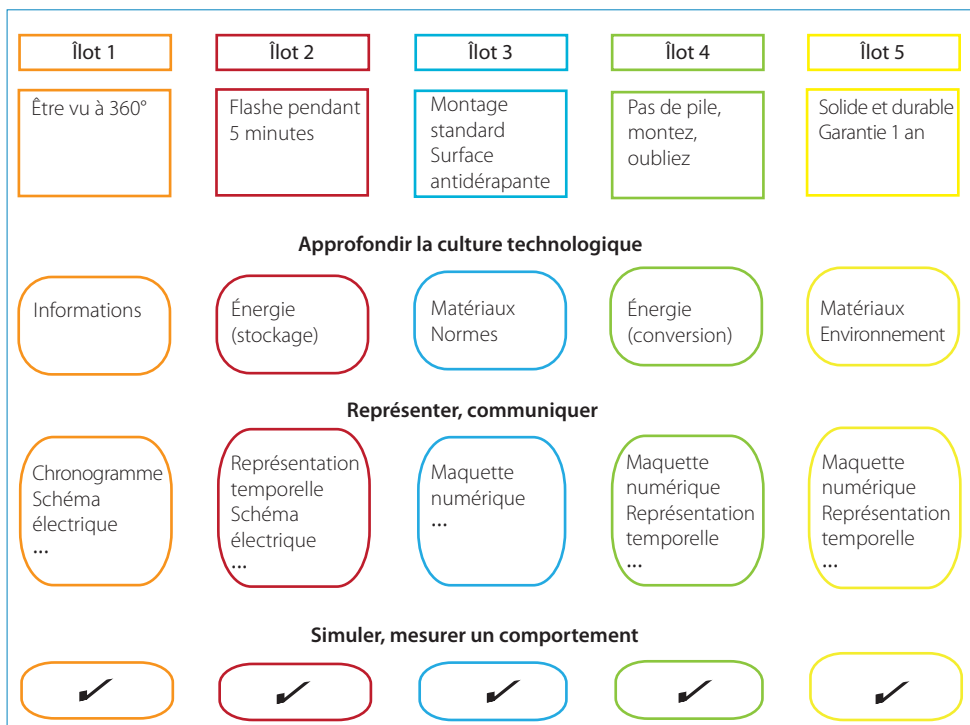
Il reste cependant un détail primordial à vérifier : ce découpage répond-il aux attentes du *Bulletin officiel* ? Celui-ci distingue trois points fondamentaux : approfondir la culture technologique ; représenter, communiquer ; simuler, mesurer un comportement. Le tableau **4** liste de manière non exhaustive les différentes notions abordées par chacune des activités d'investigation proposées. Voici quelques commentaires en complément :

### ● Approfondir la culture technologique

Chaque îlot aborde une partie des notions proposées par le *BO*, la même notion pouvant être traitée par des îlots différents (par exemple l'énergie). Ce dernier aspect est particulièrement intéressant. En effet, lors de la phase de restitution où chaque îlot devra présenter ses travaux, la confrontation des analyses sur cette notion, différentes puisque basées sur des problématiques différentes, s'ajoutera aux interrogations et questionnements des élèves pour enrichir les échanges. Le professeur se fera alors juge, à la fois scientifique et de paix.

### ● Représenter, communiquer

Lors de leurs investigations, plus ou moins orientées par le professeur, les élèves seront conduits à lire – ou à proposer – une représentation symbolique



**4 Les notions abordées dans les différentes activités d'investigation**

(schéma électrique simple, chronogramme, etc.), parfois normalisée, qui leur permettra de comprendre un phénomène – ou d'en présenter leur analyse. Dans ce second cas, l'heure étant à l'investigation, les élèves choisiront librement l'outil de représentation. Le professeur les confortera dans leur choix, ou au contraire les amènera à percevoir les faiblesses de leur solution et les orientera vers une autre. L'utilisation des maquettes numériques est généralisée, même si la quasi-totalité des composants du système est accessible.

**• Simuler, mesurer un comportement**

La ou les problématiques soulevées par chaque activité vont conduire les élèves à s'interroger sur la partie du système à étudier, et, par la suite, à identifier le comportement du système, qu'ils essaieront de relier à un phénomène physique qu'ils ont déjà pu rencontrer. Une proposition de loi entrée-sortie pourra les guider si le phénomène physique leur est inconnu. Cette loi entrée-sortie devra, au final, être présentée lors de la phase de restitution ; le professeur fera alors montre de la plus grande rigueur quant aux unités et ordres de grandeur proposés par les élèves.

Nous avons choisi de ne développer ici qu'une seule des cinq activités d'investigation proposées.

**« Pas de piles, pas de maintenance : montez et oubliez ! »**

L'énergie est le fil directeur de cette investigation. Les conversions d'énergie utilisées dans ce support sont nombreuses, comme le montre en **5** la chaîne d'énergie. En observant le comportement, le fonctionnement et la constitution du système, les élèves découvrent les différentes fonctions de cette chaîne : transmettre, convertir, distribuer, stocker et alimenter.

Des questions peuvent servir de point de départ :

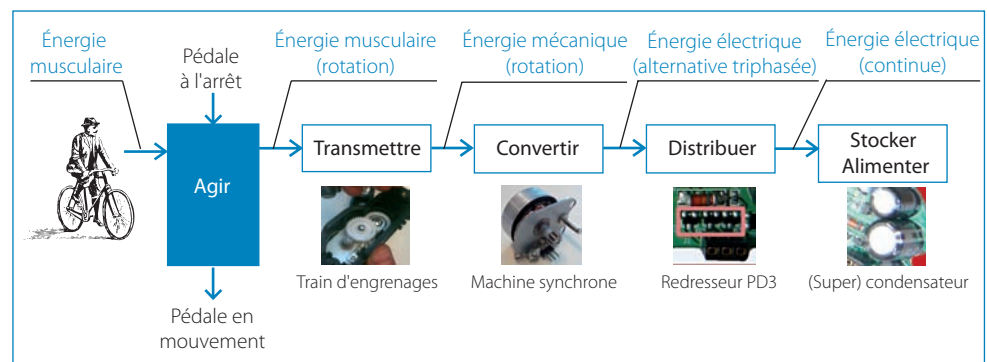
- Quelles sont les natures des énergies en entrée et en sortie du système ?
- Quel élément convertit la nature de l'énergie ?
- Si les leds continuent de clignoter après l'arrêt du pédalage, où est stockée l'énergie ?

Des analogies peuvent être faites avec d'autres systèmes à récupération d'énergie comme la dynamo de vélo, les petits appareils rechargeables par remontage manuel (radio, lampe, téléphone...), dont les principes physiques sont identiques.

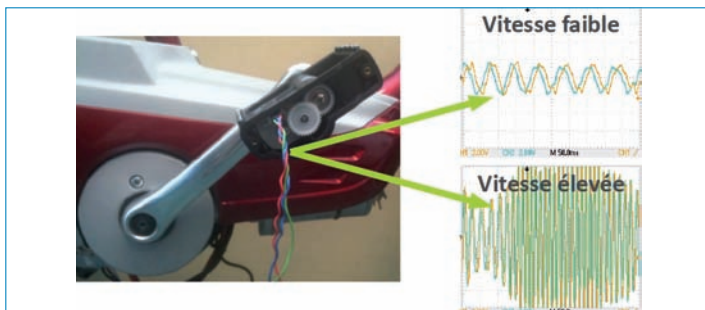
Les élèves peuvent également réaliser de petites manipulations. Par exemple, si l'un tourne l'axe de la pédale alors qu'un autre déconnecte la carte électronique de la génératrice, l'énergie consommée variant, le couple appelé sera plus faible... l'élève le constatera au bout de ses doigts !

Une fois les différentes fonctions internes identifiées, les élèves devront réaliser les analyses structurelle et comportementale de chacune :

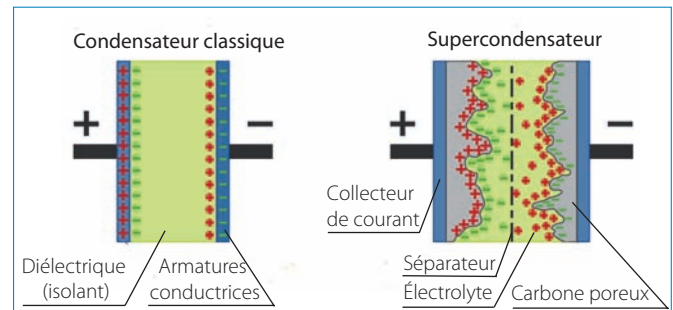
- La fonction « convertir » est intéressante. Elle est réalisée par une petite machine synchrone triphasée (alternateur). Une première approche peut être faite en observant les tensions produites ; on y accède facilement en déconnectant la carte électronique. La pédale peut être montée sur un vélo ou sur un pédalier de façon à maintenir un mouvement de rotation quasi constant. Les élèves relèvent les tensions pour des vitesses différentes, et constatent que les tensions générées sont alternatives (presque sinusoïdales), que leur amplitude et leur fréquence augmentent proportionnellement à la vitesse de



**5 La chaîne d'énergie de la Pedalite KPL200**



6 Les 2 tensions induites lorsque la vitesse de pédalage augmente



7 La comparaison de la structure d'un condensateur classique et de celle d'un supercondensateur

pédalage 6. Des animations interactives permettent ensuite de comprendre les principes physiques sous-jacents afin d'identifier les éléments de la solution technologique : rotation d'aimants autour de trois bobines.

● La fonction « transmettre » est inévitable. Le niveau de tension induite devant être suffisant, les élèves comprennent le rôle du train d'engrenages, qui multiplie la vitesse. L'influence des paramètres dans la relation entrée-sortie du train d'engrenages peut être étudiée sur de petits systèmes didactiques ainsi que sur la maquette numérique.

● La fonction « stocker » est innovante. Elle est réalisée par un supercondensateur de 5 farads. Les élèves ne connaissant pas ce composant dont l'utilisation est récente (elle date des années 1990), ils ne peuvent comprendre son utilité ni s'émerveiller de sa taille. Rappelons-en les principes en quelques mots. L'énergie stockée dans un condensateur est proportionnelle à sa capacité  $C$  ; celle-ci dépend de la géométrie de ses armatures (surface  $S$  et épaisseur  $e$ ) et de la nature du diélectrique  $\epsilon$  ( $C = \epsilon S / e$ ). L'idée est donc d'utiliser des matériaux et une structure permettant d'augmenter  $S$  et de diminuer  $e$ . En utilisant des électrodes en charbon actif imprégnées d'électrolyte séparées par un isolant, on réalise un condensateur à double couche pouvant atteindre des valeurs très élevées (surface spécifique :  $2\,000\text{ m}^2/\text{g}$  et  $0,2\text{ F}/\text{m}^2$ ). La figure 7

compare la structure d'un condensateur électrolytique classique à celle d'un supercondensateur.

L'intérêt, pour notre support, d'utiliser ce composant est lié à la rapidité

du transfert de l'énergie (comparativement aux batteries). L'énergie peut être stockée rapidement lors du pédalage et pourra être restituée lors d'un arrêt, les leds pouvant ainsi continuer à clignoter. Cette activité rejoint donc celle de l'îlot 2 (pédale qui continue à flasher 5 minutes après le pédalage), les élèves s'en rendront compte lors de la synthèse !

### Les points forts de la séquence

- Un support d'étude facile d'accès (coût, démontage...) et proche de l'environnement des élèves
- Un support unique pour tous les groupes d'élèves durant la séquence
- Une technologie pertinente par rapport aux questions sociétales liées à la sécurité des personnes et au développement durable
- Des activités pédagogiques différentes, complémentaires et convergentes pour chaque groupe
- Une démarche d'investigation pour comprendre comment la conception du produit permet d'atteindre les performances vantées
- Des manipulations expérimentales durant la phase de recherche de la démarche d'investigation
- Une ouverture vers des métiers du domaine de la technologie

### L'ouverture sur l'orientation

Cette étude de cas a montré la richesse de son support. La conception et la réalisation d'un tel système a nécessité des compétences pluritechniques de la part des ingénieurs. Les élèves sont ainsi amenés à réfléchir sur les différents métiers de l'ingénierie, que l'enseignant pourra leur faire découvrir, ainsi que les parcours y menant. De nombreux témoignages de jeunes ingénieurs sont disponi-

bles sur les sites internet dédiés (voir l'encadré « En ligne ») ; ils permettront aux élèves d'éclairer leur choix d'orientation. ■

### En ligne

#### Les documents ressources

Vous trouverez sur les sites académiques de l'académie de Paris et de Versailles les différents documents qui vous permettront de réaliser l'étude de cas présentée avec vos élèves :

[www.sti.ac-versailles.fr](http://www.sti.ac-versailles.fr)

<http://sti.ac-paris.fr>

#### Références

Le BO spécial n° 4 du 29 avril 2010, « Enseignement d'exploration – Programme d'enseignement de sciences de l'ingénieur en classe de seconde générale et technologique » :

[www.education.gouv.fr/cid51330\\_mene1007275a.html](http://www.education.gouv.fr/cid51330_mene1007275a.html)

Pedalite KPL200 :

[https://www.cerpet.adc.education.fr/ressource\\_fiche.asp?num\\_ressource=650](https://www.cerpet.adc.education.fr/ressource_fiche.asp?num_ressource=650)

[www.ac-grenoble.fr/si/ee-si/dt\\_pedalite\\_kpl200/export/index.html](http://www.ac-grenoble.fr/si/ee-si/dt_pedalite_kpl200/export/index.html)

SIMON (Patrice), *Supercondensateurs – Principes et évolutions*, séminaire au Collège de France, 2 février 2011 :

[www.college-de-france.fr/media/cha\\_eur/UPL19317\\_P\\_Simon\\_2F\\_vrier.pdf](http://www.college-de-france.fr/media/cha_eur/UPL19317_P_Simon_2F_vrier.pdf)

(la synthèse de la conférence)

[www.college-de-france.fr/default/EN/all/cha\\_eur/Seminaire\\_du\\_2\\_fevrier\\_2011\\_.htm](http://www.college-de-france.fr/default/EN/all/cha_eur/Seminaire_du_2_fevrier_2011_.htm)

(la conférence audio)

Orientation, découverte des métiers

[www.metiers-industrie.economie.gouv.fr/?da=CMQF](http://www.metiers-industrie.economie.gouv.fr/?da=CMQF)

[www.onisep.fr](http://www.onisep.fr)

(des DVD réalisés par l'Onisep sont aussi disponibles dans les CDI des lycées)

[www.uimm-regioncentre.com/](http://www.uimm-regioncentre.com/)

[UIMM\\_Region\\_Centre-fr-idm27-n-Enseignants.html](http://UIMM_Region_Centre-fr-idm27-n-Enseignants.html)

[www.lecanaldesmetiers.tv](http://www.lecanaldesmetiers.tv)

[www.citedesmetiers.fr](http://www.citedesmetiers.fr)