

# Une technologie ludique

RÉMI STAVRAKAS, PATRICIA CHABERT [1]

*C'est à partir d'un support bien connu de nos élèves, la manette de la Wii, la console de jeu de Nintendo, qu'une équipe pédagogique de l'académie de Versailles a mis en œuvre une étude de cas dans le cadre de l'enseignement d'exploration CIT. Ils partagent avec nous cette expérience d'application de la réforme des lycées en classe de seconde.*

La mise en œuvre de la nouvelle classe de seconde à la rentrée 2010 inaugure l'enseignement d'exploration « création et innovation technologiques », qui marque une rupture dans la façon d'enseigner la technologie en seconde. À cette occasion, nous avons été sollicités afin de produire une étude de cas utilisable comme point départ pour les productions futures des enseignants de technologie du secondaire.

## Le support

Le support de l'étude de cas est la technologie des microsystèmes électromécaniques ou MEMS (*Micro-ElectroMechanical Systems*, voir en encadré). Il s'agit de systèmes mécaniques utilisant l'électricité comme source d'énergie, dont la fonction est soit celle d'un capteur soit celle d'un actionneur, caractérisés par leur dimension micrométrique : leurs composants mécaniques ont une taille comprise entre 1 et 100  $\mu\text{m}$ . Leurs applications sont nombreuses :

- Injecteurs pour imprimantes à jet d'encre
- Micromiroirs qui définissent les pixels de certains modèles de vidéoprojecteurs
- Accéléromètres destinés à des domaines divers tels que l'automobile (airbag), plus récemment le jeu vidéo avec les manettes à détection de mouvement, ou encore les *smartphones*
- Microrelais, le plus souvent à actionnement capacitif
- Capteurs de pression

## mots-clés

capteurs, pédagogie



1 La manette

Filtres électromécaniques, qui isolent une fréquence du signal d'entrée en utilisant la résonance d'un système masse-ressort

Cette liste n'est bien sûr pas exhaustive.

Nous avons centré notre étude sur les accéléromètres MEMS (voir en encadré). Bien souvent sans le savoir, un élève de seconde côtoie fréquemment cette technologie. Il y a en effet des accéléromètres MEMS dans la voiture de ses parents, dans la manette de la console de jeu du salon, ou encore dans son lecteur MP3.

Le support exploitable en classe que nous avons utilisé est la Wiimote, la manette de la Wii, la console de jeu de Nintendo 1. Elle comporte un accéléromètre MEMS ADXL330 2 (Analog Devices) avec lequel il est facile de faire de l'acquisition sur un PC via Bluetooth.

## L'organisation matérielle

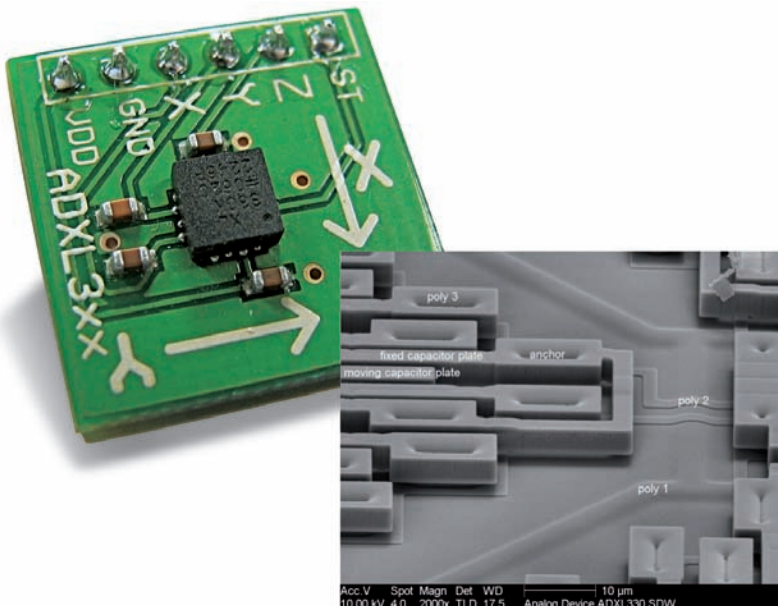
Cette étude de cas est conçue pour un groupe de 4 ou 5 élèves collaborant sur les questionnements proposés. Une seule Wiimote est fournie par groupe, avec des accumulateurs rechargeables. L'ensemble du questionnaire est dans un format numérique (HTML) qui permet un accès aisé au dossier ressource. Il est donc nécessaire de mettre à disposition de chaque groupe au moins deux postes informatiques, qui devront disposer des éléments suivants :

- Une connexion internet
- Un module Bluetooth (à défaut, une clé Bluetooth)
- Les logiciels BlueSoleil (livré avec une clé Bluetooth), Remote, GlovePie, PPjoy et SismoWii (*freewares*), disponibles dans le dossier professeur
- Un tableur
- Un logiciel de PAO
- Un logiciel de traitement de texte (si l'on souhaite une production élève numérique)

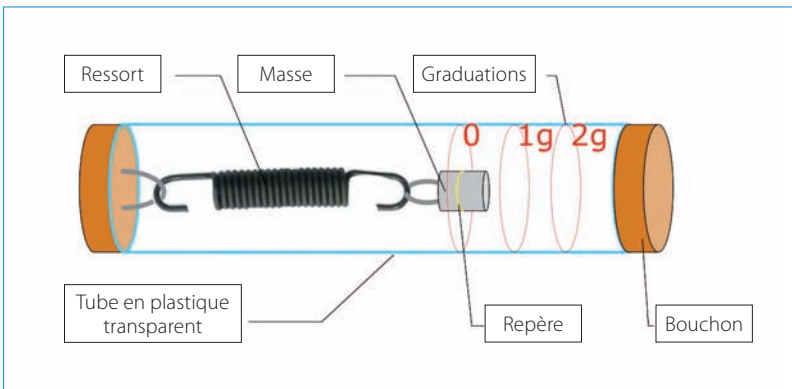
Chaque élève devra réaliser un accéléromètre à ressort 3 à l'aide des éléments suivants :

- 1 tube transparent assez rigide (par exemple, un tuyau d'arrosage translucide de grand diamètre, disponible dans la majorité des magasins de bricolage)
- 2 bouchons en liège (à gainer avec un adhésif de masquage pour qu'ils s'adaptent au diamètre du tube)
- 1 ressort de raideur très faible, moins de 0,05 N/mm (disponible sur les quincailleries en ligne)
- 1 masse cylindrique en métal
- Fil de fer

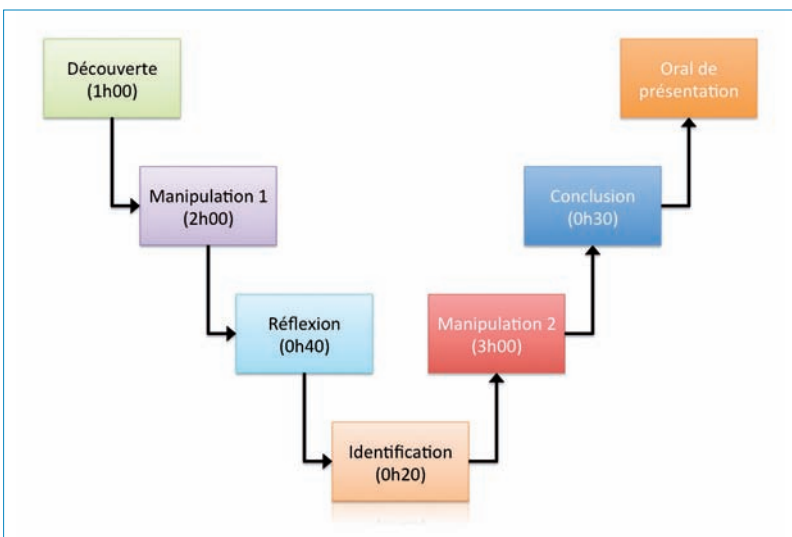
[1] Respectivement, professeur certifié de mécanique au lycée Jules-Ferry de Versailles (78) et professeure agrégée de mécanique au lycée Passy-Buzenval de Rueil-Malmaison (92). Courriels : remi.stavrakas@ac-versailles.fr ; patricia.chabert@ac-versailles.fr.



**2 L'accéléromètre**



**3 Un accéléromètre à ressort**



**4 La structure en V de la démarche pédagogique**

**La structure de l'étude de cas**

Nous avons travaillé à partir de la structure en V des séquences de la démarche pédagogique définie par le groupe de travail CIT de l'académie de Versailles **4**, qui permet à l'élève de s'approprier progressivement la technologie étudiée.

**En ligne**

Ces travaux sont disponibles en téléchargement

• sur le site de l'académie de Versailles :

[www.sti.ac-versailles.fr/spip.php?article\\_122](http://www.sti.ac-versailles.fr/spip.php?article_122)

• Sur le site du CNR-CMAO :

[www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/dossiers\\_pedagogiques/index.php?t=12&Ind=TP&ssi=CIT](http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/dossiers_pedagogiques/index.php?t=12&Ind=TP&ssi=CIT)

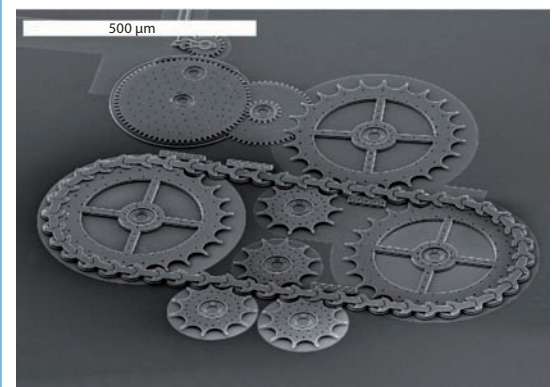
**Les MEMS**

Issus de la technologie de la microélectronique, les MEMS font appel pour leur fabrication aux microtechnologies, qui permettent une production à grande échelle. Ils sont utilisés dans des domaines aussi variés que l'automobile, l'aéronautique, la médecine, la biologie, les télécommunications...

Les MEMS ont été développés au début des années 1970 en tant que dérivés de la microélectronique. Leur première commercialisation remonte aux années 1980 avec des capteurs de pression sur silicium qui ont remplacé rapidement les technologies plus anciennes et constituent encore une part importante du marché des MEMS. Depuis lors, les MEMS ont connu un important développement; ils sont encore en plein essor. C'est un domaine de recherche relativement récent, qui combine électronique, informatique, chimie, mécanique et optique. Face au développement de ce domaine, on a vu apparaître des termes dérivés pour désigner des MEMS spécialisés. Par exemple, dans le domaine optique on utilise le terme MOEMS (*Micro-Opto-ElectroMechanical Systems*) ou *optical MEMS*, alors que dans le domaine biologique on utilise bioMEMS. On notera aussi un nouveau terme, NEMS (*NanoElectroMechanical Systems*), nanosystèmes en français, désignant des structures semblables aux MEMS mais de taille submicrométrique.

Les MEMS sont composés de mécanismes (résonateurs, poutres, micromoteurs, etc.) réalisés à l'échelle micrométrique, le plus souvent sur silicium (d'autres matériaux sont utilisés suivant l'adéquation de leurs propriétés physiques à certaines applications : métaux, matériaux piézo-électriques, polymères, etc.). Ces différents éléments mécaniques sont mis en mouvement (actionnés) grâce aux forces générées par des transducteurs électromécaniques. Ceux-ci sont alimentés par des tensions produites avec des circuits électroniques avoisinants. Les transducteurs électromécaniques jouent alors le rôle d'interface entre les domaines mécanique et électrique. Les transducteurs électrostatiques ou capacitifs y sont utilisés le plus souvent, bien que l'on puisse rencontrer des interfaces électromécaniques basées sur des phénomènes magnétiques et thermomécaniques.

D'après Wikipédia



**Engrenages MEMS.** La barre blanche donne l'échelle : 0,5 mm

**Diaporama de présentation à compléter**

**Documentation produits :**

- Airbag
- Cover Flow - iPod Nano
- WiiMote
- Sudden Motion Sensor
- iPhone (Plans)

**Documentation physique :**

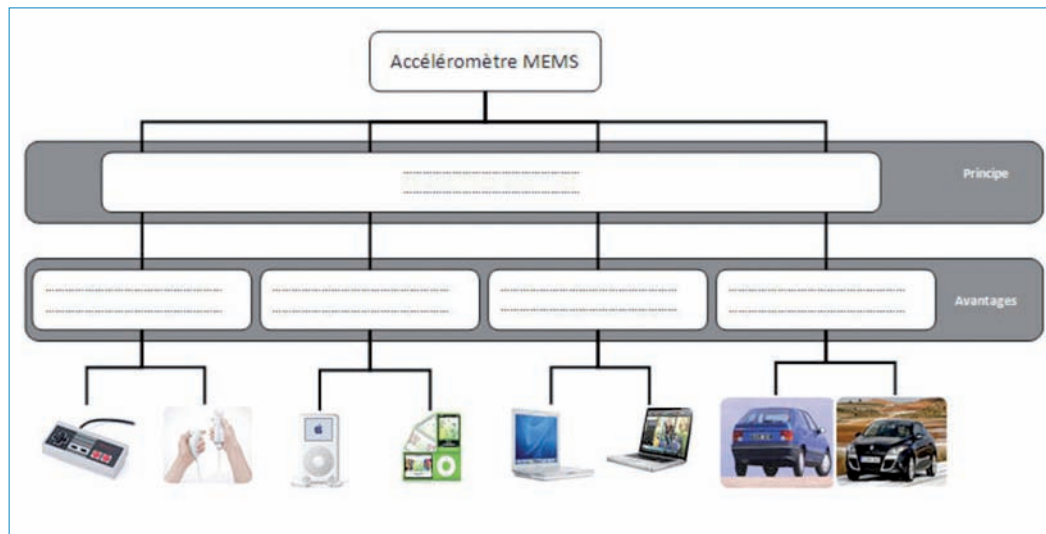
- Principe de l'inertie
- Ressorts
- Codification binaire

**Dossier technique :**

- WiiMote
- Démontage virtuel iPhone
- ADXL 330
- LIS331 DL
- WiiMote

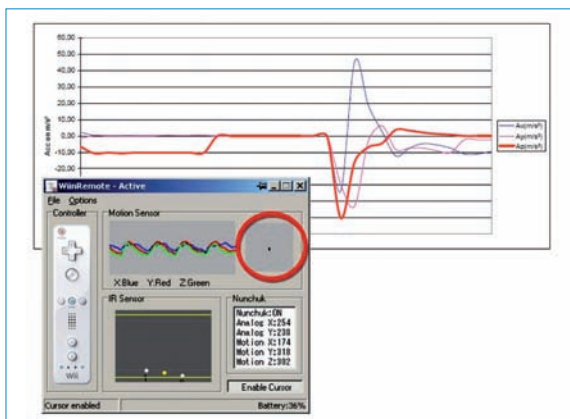
**Documentation logiciels :**

- BlueSoleil
- WinRemote
- GlovePie
- SismoWii
- PPjoy
- Excel



**5 L'interface HTML élève**

**6 Le schéma de synthèse à compléter**



**7 Les logiciels d'acquisition et de traitement**

L'étude de cas est formatée sur une durée de 8 heures présentation orale incluse (la grille d'activités élève est fournie en encadré), éventuellement en rotation avec d'autres études de cas. Elle est découpée en six phases.

**La phase de découverte (1 heure)**

● **Objectif :** Découvrir et caractériser le bénéfice de l'intégration d'un système de détection de mouvement.

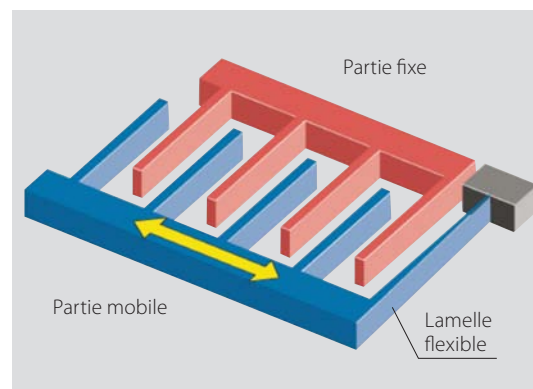
Il s'agit de comparer de manière fonctionnelle plusieurs produits obsolètes avec leur évolution actuelle intégrant un accéléromètre MEMS. Par le biais d'animations et de vidéos, le questionnement amène l'élève à dégager, par exemple, les fonctions « augmenter l'interactivité » ou « mettre en sécurité les biens et les personnes », respectivement pour les manettes de jeu à détection de mouvement et pour les automobiles équipées d'airbags, dont le point commun est l'activation par le mouvement.

**La phase de manipulation n° 1 (2 heures)**

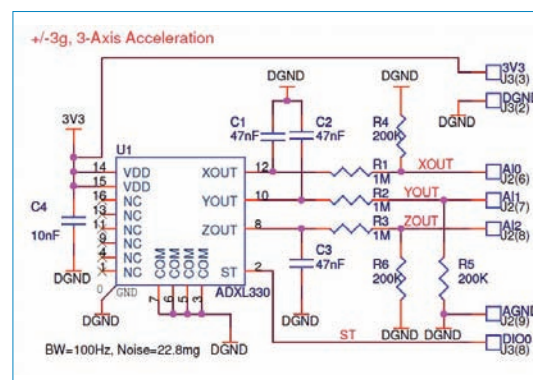
● **Objectif :** S'approprier les notions d'accélération, d'inertie et de ressort.

**L'accéléromètre MEMS**

L'accéléromètre est un capteur d'accélération constitué de surfaces de silicium polies, et composé de deux peignes **a**, l'un fixe et l'autre suspendu par une lamelle flexible mobile. Lorsque la vitesse varie, il y a accélération. Le peigne mobile peut se déplacer de quelques dizaines de nanomètres. Le déplacement modifie la capacité électrique équivalente. Sa structure électronique fournit des signaux analogiques dont les amplitudes sont proportionnelles à l'accélération **b**.



**a Les deux peignes de l'accéléromètre**



**b La structure électronique de l'accéléromètre**

## La grille d'activités élève

### Déroulement de l'étude de cas « accéléromètre MEMS (Wiimote) »

#### Phase 1 : Découverte

Objectif	Durée	Activités élève	Matériel et documentation	Fichier élève	Fichier professeur
Découvrir et caractériser le bénéfice de l'intégration d'un système de détection de mouvement	1 h 00	Étude comparative de systèmes d'ancienne et de nouvelle génération (manette de jeu, baladeur MP3, ordinateur portable...).	Dossier technique numérique : Wiimote iPod Nano Sudden Motion Sensor Airbag iPhone	Document réponse 1 (téléchargeable sur le questionnaire numérique)	Correction

#### Phase 2 : Manipulation 1

Objectif	Durée	Activités élève	Matériel et documentation	Fichier élève	Fichier professeur
S'approprier les notions : • accélération • inertie • ressorts	2 h 00	Calculs simples (accélération et ressorts)	Dossier ressource numérique : • ressorts • inertie (maquette virtuelle)	Document réponse 2	Correction
		Découverte de l'inertie avec la manipulation d'une maquette virtuelle			
		Réalisation d'un accéléromètre à ressort	Tube transparent, masse cylindrique, ressort, fil de fer et 2 bouchons		

#### Phase 3 : Réflexion

Objectif	Durée	Activités élève	Matériel et documentation	Fichier élève	Fichier professeur
Découvrir et caractériser un accéléromètre MEMS	0 h 40	Étude du fonctionnement d'un accéléromètre MEMS	Dossier technique / ressource numérique : AXL330 (Wiimote) LIS331 DL (iPhone) Animation accéléromètre MEMS	Document réponse 3	Correction
		Relevé de caractéristiques			
		Comparaison de performances			

#### Phase 4 : Identification

Objectif	Durée	Activités élève	Matériel et documentation	Fichier élève	Fichier professeur
Réaliser le bilan des phases précédentes	0 h 20	Compléter le schéma fonctionnel de l'intégration d'un accéléromètre MEMS Réflexion sur les principes d'évolution		Document réponse 4	Correction

#### Phase 5 : Manipulation 2

Objectif	Durée	Activités élève	Matériel et documentation	Fichier élève	Fichiers professeur
Mettre en œuvre un accéléromètre MEMS	3 h 00	Utilisation de la Wiimote comme capteur d'accélération Conception et réalisation d'une expérimentation permettant de caractériser la chute libre d'un objet	Wiimote Clé Bluetooth Logiciels (avec leur documentation sur le dossier ressource) : • BlueSoleil • WiinRemote • PPJoy • SismoWii • Excel	Document réponse 5	Fichiers d'installation des logiciels (sauf Excel) Correction

#### Phase 6 : Conclusion

Objectif	Durée	Activités élève	Matériel et documentation	Fichier élève	Fichier professeur
Imaginer d'autres applications pour les accéléromètres MEMS et ouvrir vers les autres systèmes MEMS	0 h 30	Recherches internet Interprétation		Document réponse 6	Correction

#### Communication

Objectif	Durée	Activités élève	Matériel et documentation	Fichier élève	Fichier professeur
Présenter le travail effectué à la classe	0 h 30	Préparation du compte rendu de l'étude de cas sur PowerPoint	PowerPoint Vidéoprojecteur	Diaporama à compléter	

## Vitesse et accélération : quelques principes physiques

### Approche qualitative

La *sensation de vitesse* est ce que l'on perçoit lorsque l'on se déplace plus ou moins rapidement. La *vitesse* représente donc une variation de position sur un intervalle de temps donné.

La *sensation d'accélération* est ce que l'on ressent lorsque l'on se déplace à une certaine vitesse et que cette dernière augmente. L'*accélération* représente donc une variation de vitesse sur un intervalle de temps donné.

### Approche quantitative

#### Définition de la vitesse

Lorsqu'un point M se déplace en un temps  $\delta t$  d'une position  $M_1$  à une position  $M_2$ , il parcourt une distance que l'on peut représenter par son vecteur déplacement  $\overrightarrow{M_1 M_2}$ . On peut définir deux vitesses à partir de ces données :

● **La vitesse instantanée** de M, représentée par un vecteur  $\overrightarrow{V_{(M/R)}}$ , qui correspond à la limite du rapport du vecteur déplacement par la mesure du temps  $\delta t$  quand celle-ci tend vers zéro, soit :

$$\overrightarrow{V_{(M/R)}} = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \left[ \frac{\overrightarrow{M_1 M_2}}{\delta t} \right] = \left[ \frac{d \overrightarrow{OM}}{dt} \right]_R = V(MR) \cdot \vec{T}$$

avec  $\vec{T}$  vecteur tangent à la trajectoire.

● **La vitesse moyenne** de M notée  $V_{moy(M/R)}$ , valeur algébrique égale au rapport de la distance totale parcourue par M entre les deux positions par le temps mis pour la parcourir, qui correspond également à la moyenne des vitesses instantanées :

$$V_{moy(M/R)} = \frac{\overline{AB}}{\delta t}$$

#### Définition de l'accélération

Lorsque ce même point M se déplace à une vitesse instantanée  $V_1$  en quittant  $M_1$  et arrive en un temps  $\delta t$  à la position  $M_2$  à la vitesse  $V_2$ , le changement de vitesse peut être représenté par la différence

$$\overrightarrow{M_2(MR)} - \overrightarrow{M_1(MR)}$$

On peut alors définir l'accélération instantanée comme étant la limite du vecteur différence de vitesse par la mesure du temps  $\delta t$  quand celle-ci tend vers zéro, soit :

$$\overrightarrow{a_{(M/R)}} = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \left[ \frac{\overrightarrow{V_2(MR)} - \overrightarrow{V_1(MR)}}{\delta t} \right] = \left[ \frac{d\overrightarrow{V_{(M/R)}}}{dt} \right]_R = a_t \cdot \vec{T} + a_n \cdot \vec{N} = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{T} + \frac{v^2}{R} \cdot \vec{N}$$

avec  $\vec{N}$  vecteur orienté vers le centre de courbure de la trajectoire ( $a_n$  est appelée accélération centripète générant la force centrifuge de sens opposé).

Comprendre le fonctionnement d'un accéléromètre (MEMS ou conventionnel) nécessite la connaissance de quelques principes physiques, donnés en encadré ci-dessus, par exemple la relation entre l'accélération d'un système matériel et les actions mécaniques qui lui sont appliquées (force = masse × accélération). L'élève est donc amené à effectuer quelques calculs simples et intuitifs sur le mouvement de translation uniformément varié, ainsi que sur la relation entre la raideur d'un ressort et l'effort qui lui est appliqué. L'inertie est introduite de manière intuitive grâce à une maquette virtuelle manipulable par l'élève.

Le questionnement se termine par la fabrication d'un accéléromètre 3, que l'élève pourra emporter chez lui.

### La phase de réflexion (0 h 40)

● **Objectif** : Découvrir et caractériser un accéléromètre MEMS.

Ayant accès à un dossier technique – l'interface HTML élève 5 – regroupant entre autres les spécifications

(documentation constructeur) des accéléromètres MEMS ADXL330 et LIS331 DL (équipant respectivement la Wiimote et l'iPhone), les élèves sont en mesure de relever les caractéristiques de ces deux systèmes, puis de comparer leurs performances. À l'aide d'animations, l'élève découvre le fonctionnement interne d'un accéléromètre MEMS : peigne mobile, peigne fixe, détection capacitive (voir l'encadré)...

Le questionnement conclut sur l'évolution des accéléromètres, afin de mettre l'accent sur la miniaturisation.

### La phase d'identification (0 h 20)

● **Objectif** : Réaliser le bilan de la première partie de l'étude de cas.

L'élève doit compléter un schéma de synthèse 6 représentant l'intégration d'un accéléromètre MEMS. Ce schéma comporte le principe innovant introduit par l'accéléromètre ainsi que les bénéfices apportés en fonction du type de produits étudié.

L'interprétation du principe innovant peut revêtir deux aspects selon les connaissances de l'élève : si la méthode TRIZ a été vue au préalable et que l'élève dispose d'une base de données d'exemples, l'enseignant peut orienter la réponse vers l'un des 40 principes TRIZ ; sinon, on peut tout à fait interpréter le principe innovant comme étant « détecter une variation de mouvement ».

### La phase de manipulation n° 2 (3 heures)

● **Objectif** : Mettre en œuvre la technologie accéléromètre MEMS.

Au cours de cette expérimentation, l'élève, la détournant de sa destination première, se sert de la Wiimote comme moyen d'acquisition de l'accélération.

La première partie du questionnement l'amène à caractériser les trois axes sensibles de l'accéléromètre MEMS de la manette. Ayant établi une connexion Bluetooth entre la Wiimote et l'ordinateur, grâce à des logiciels d'acquisition et de traitement, il émule avec la manette un *joystick* répondant à l'accélération de la pesanteur 7.

La seconde partie laisse l'élève libre de concevoir et de mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de caractériser la chute libre de la Wiimote. Les courbes résultant de l'expérimentation seront réalisées grâce à un tableur.

### La phase de conclusion (0 h 30)

● **Objectif** : Ouvrir vers d'autres systèmes MEMS et imaginer d'autres applications pour les accéléromètres MEMS.

À l'issue des différentes phases et de leur questionnement, il est proposé aux élèves de formaliser et de restituer les connaissances acquises lors d'un oral de présentation. Ils disposent pour cela d'un diaporama à compléter, téléchargeable depuis le dossier ressource. ■