

Utilisation d'une manette de jeu vidéo pour des expériences de mécanique

par François-Xavier INGLÈSE et David ROUSSEAU

Département de physique
Université d'Angers - 49000 Angers
david.rousseau@univ-angers.fr

RÉSUMÉ

Dans cet article sont données les informations pratiques nécessaires à la mise en œuvre, simple, originale et peu coûteuse, d'un contrôleur de jeu vidéo pour mesurer des accélérations. Quelques idées d'expériences utilisant ce dispositif sont ensuite indiquées. L'intérêt pédagogique d'une telle démarche dans le cadre d'un enseignement sur la notion de capteur est enfin discuté.

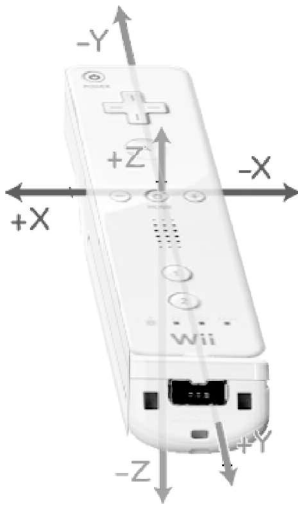
INTRODUCTION

La mesure de la grandeur accélération, actuellement au cœur des activités expérimentales de l'enseignement de la mécanique dans le secondaire, est quasi systématiquement faite par des méthodes indirectes. Le déplacement ou la vitesse du centre d'inertie du système est souvent mesuré directement pour en déduire, dans un second temps et par calcul, la grandeur accélération. Bien que leur coût ait diminué ces dernières années, on ne trouve, actuellement, peu ou pas d'accéléromètres dans les catalogues des fournisseurs habituels de matériel à usage pédagogique. Un désavantage simplement pratique peut expliquer cette absence. La plupart des accéléromètres opère des mesures avec contact et sont reliés à une centrale d'acquisition par un fil. Ce dernier serait, sans aucun doute, gênant dans le cadre de l'étude d'une chute ou d'un choc sur une table à coussin d'air. Dans cet article, nous indiquons au lecteur la possibilité, toute récente, d'accéder aux informations issues d'un accéléromètre, sans carte d'acquisition, sans fil et en détournant à moindre coût du matériel bien connu des élèves : une manette de jeu vidéo.

1. DESCRIPTION DU CONTRÔLEUR WIIMOTE

La Wiimote est le nom donné par Nintendo à la manette ou contrôleur de sa nouvelle console de jeu vidéo. Ce contrôleur, visible sur la figure 1 (*cf.* page ci-après), communique, par une liaison sans fil de type Bluetooth, des informations sur les mouvements impulsés par la main du joueur qui le tient. Le capteur utilisé par la Wiimote, l'ADXL330 de chez ANALOG DEVICE [1], est un accéléromètre qui fournit trois tensions

fidèles aux accélérations sur trois axes perpendiculaires (X, Y, Z) orientés comme sur la figure 1. L'ADXL330 met en jeu un micro-accéléromètre sismique dont le principe de fonctionnement basé sur une mesure de capacité [2], permet une miniaturisation, la possibilité d'intégration de l'électronique de conditionnement sur un même substrat de silicium et une réduction des coûts. Nous rassemblons, dans le tableau de la figure 1, quelques caractéristiques de la Wiimote déterminantes pour une utilisation en travaux pratiques de mécanique.



Prix	39,99 €
Poids	138 g
Taille	15 cm
Bande passante	550 Hz en (Z) ; 1600 Hz en (X, Y)
Étendue de mesure	$\pm 3 \times 9,81 \text{ (ms}^{-2}\text{)}$
Dynamique	8 bits

Figure 1 : Vue du contrôleur Wiimote reproduit à partir du site [4]. Le tableau présente quelques caractéristiques techniques de la Wiimote et de son accéléromètre. Dans le repère de cette figure, les coordonnées du centre de l'accéléromètre sont $x = +10 \text{ mm}$, $y = -25 \text{ mm}$, $z = -5 \text{ mm}$.

Les données du tableau de la figure 1 permettent de remonter à la résolution Δa qui fixe, en l'absence de toute source de bruit, la limite théorique de ce qu'il est possible de détecter avec l'accéléromètre de la Wiimote :

$$\Delta a = \frac{6 \times 9,81}{2^8} \approx 0,23 \text{ ms}^{-2} \quad (1)$$

La numérisation des signaux analogiques issus de l'accéléromètre étant entièrement prise en compte par la Wiimote, l'utilisateur n'a pas le choix de la fréquence d'échantillonnage du signal. D'ailleurs, l'acquisition des échantillons ne se fait pas de manière strictement périodique sur la Wiimote⁽¹⁾. D'après nos observations, l'ordre de grandeur de cette fréquence d'échantillonnage est de 100 Hz.

(1) Les webcam, utilisées dans un contexte de mécanique, présentent des désagréments du même ordre avec des acquisitions aléatoirement manquées d'images au cours du temps. Cette fluctuation inévitable de la fréquence d'échantillonnage peut être liée au système d'exploitation de l'ordinateur et/ou au protocole de transmission de la liaison sans fil utilisé ici.

Un accéléromètre seul peut être un cube de 2 à 3 mm d'arête pesant quelques dixièmes à quelques grammes (c'est d'ailleurs le cas du composant ADXL330 au cœur de la Wiimote). La Wiimote est donc en raison de son poids et de sa taille un très mauvais accéléromètre. Le principal intérêt de la Wiimote réside, comme nous allons le voir dans la prochaine section, en ce qu'elle est capable de réaliser la conversion analogique-numérique et la transmission des signaux acquis à une centrale d'acquisition.

2. RÉCUPÉRATION DES SIGNAUX DE LA WIIMOTE

La Wiimote décrite dans la section précédente a été initialement prévue pour fonctionner avec la console de jeu Wii de Nintendo. Toutefois, comme l'ont montré récemment quelques développeurs indépendants, il est possible d'utiliser la Wiimote avec un simple ordinateur. Pour ce faire, il suffit de disposer d'un module Bluetooth (environ 20 €) sur son ordinateur et de télécharger puis d'installer un programme qui permet de visualiser en temps réel, les trois signaux venant de l'accéléromètre de la Wiimote. Le code de ce programme (disponible gratuitement et légalement sur [3]), étant libre de droit et accessible, nous en avons programmé une nouvelle version disponible sur [5], où l'on donne tous les détails concernant l'installation des programmes et le type de module Bluetooth compatibles avec la Wiimote. Cette version modifiée offre la possibilité à l'utilisateur d'enregistrer, sur une durée de son choix, les signaux et les instants d'acquisition correspondants. Comme beaucoup de protocoles de communication, Bluetooth synchronise la plupart des opérations avec une horloge temps réel. Cela permet notamment de synchroniser les échanges de données entre périphériques [6]. Ainsi, les signaux ne sont pas échantillonnés à une fréquence stable, mais la durée indiquée par l'ordinateur entre deux échantillons transmis est bien celle qui s'est « réellement » écoulée.

3. EXEMPLES D'EXPÉRIENCES UTILISANT LA WIIMOTE

Nous rappelons tout d'abord, d'une manière générale, quelques contextes de mesures dans lesquels les accéléromètres sont mis à profit :

- ◆ *Mesure d'inclinaison* pour les accéléromètres dont la bande passante inclut (comme pour le capteur de la Wiimote) le continu ;
- ◆ *Mesure de chocs* : les accéléromètres sont par exemple utilisés dans le système de déclenchement des airbags ou encore dans les sismographes ;
- ◆ *Mesures vibratoires* : la mesure de l'accélération est un moyen de revenir par intégration simple puis double à la vitesse puis, respectivement, au déplacement. Le cheminement inverse, bien que possible, n'étant pas souhaitable compte tenu de la dégradation du rapport signal sur bruit inhérente à l'opération de dérivation (voir notamment dans cette revue [7]). Les mesures de vibrations des structures sont, par exemple, utilisées pour l'équilibrage des machines tournantes ou encore en maintenance préventive *via* l'analyse de l'évolution des spectres de fréquence de ces vibrations au cours du temps.

En guise d'illustration, nous décrivons quelques expériences que nous avons réalisées avec la Wiimote. Nous avons tout d'abord enregistré une chute de la Wiimote. Les signaux récupérés lors de cette expérience sont visibles sur la figure 2. La chute étant effectuée selon l'axe Z de la figure 1, on observe que l'accélération selon les axes (X, Y) est proche de zéro, y compris pendant la chute, jusqu'au moment du choc. L'accélération suivant l'axe Z est $-g$ avant le choc, ce qui traduit l'effet de la pesanteur sur l'accéléromètre en statique. Au moment où la Wiimote est lâchée, l'accélération prend instantanément une valeur proche de zéro. L'accélération de la Wiimote vient compenser la valeur donnée par le capteur en statique. Les valeurs données par les trois capteurs après le choc sont différentes des valeurs initiales, car la Wiimote a pris, après le choc une inclinaison différente de celle qu'elle avait avant d'être lâchée. Notons que, si l'on souhaite effectuer une interprétation quantitative à partir des valeurs données par la Wiimote, une étape de calibration décrite dans [4] (non réalisée sur les données des figures 2 et 3) est nécessaire.

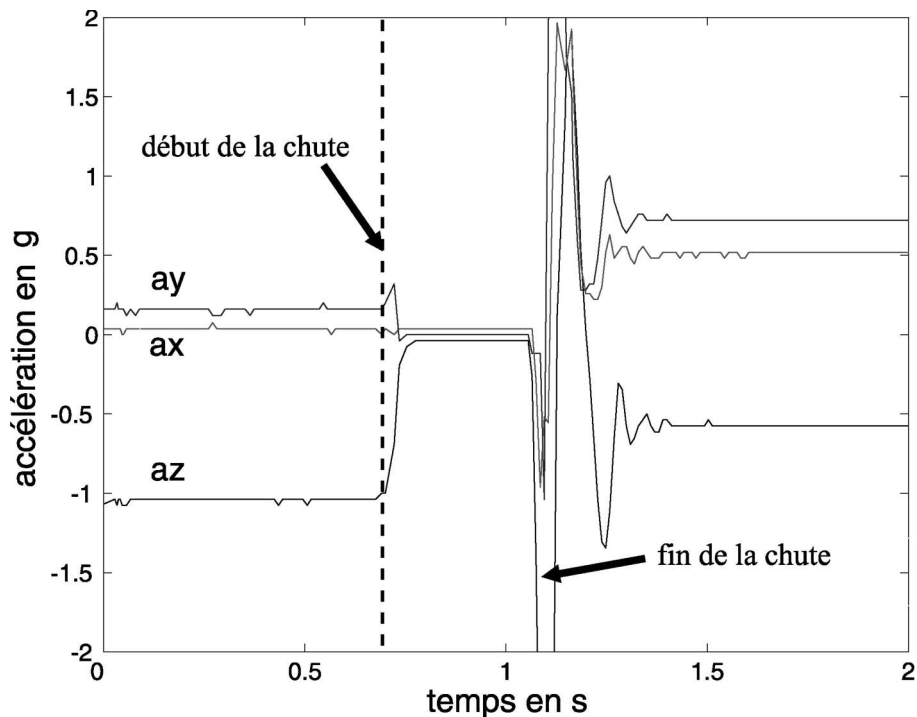


Figure 2 : Enregistrements des accélérations sur deux secondes lors d'une chute de la Wiimote orientée selon l'axe Z de la figure 1. L'unité en ordonnée correspond à $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$.

Il est également possible d'étudier des phénomènes vibratoires ou tout du moins périodiques. À titre d'exemple, nous avons fixé la Wiimote sur un pendule pesant, donnant ainsi

accès sur les axes (X, Y) aux accélérations du contrôleur dans le référentiel du laboratoire projetées dans le repère de Frenet :

$$a_x = \frac{dv}{dt} ; a_y = v^2/R \quad (2)$$

où v est le module de la vitesse du contrôleur et R la distance du contrôleur à l'axe de rotation du pendule pesant. Les signaux récupérés sont présentés sur la figure 3. On observe, en accord avec l'équation 2 que le signal de la voie Y est de fréquence double et en quadrature de phase par rapport à celui de la voie X.

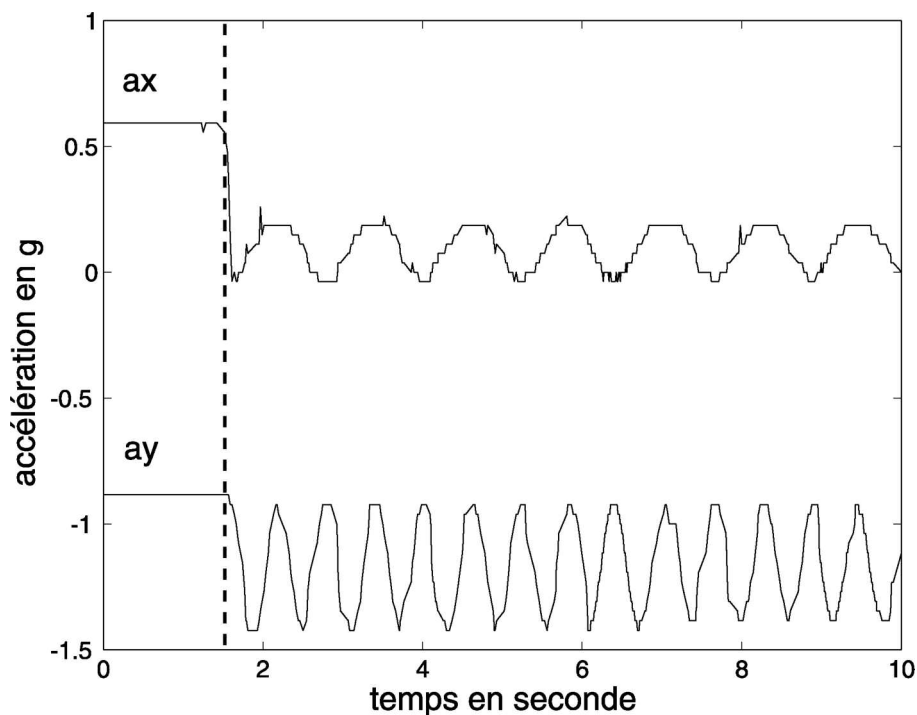


Figure 3 : Enregistrement des accélérations selon les axes (X, Y) lors de dix secondes d'oscillations d'un pendule pesant. La Wiimote est fixée sur le bras du pendule pesant dont l'axe de rotation est orienté selon l'axe Z de la figure 1. L'axe X correspond à la direction tangentielle à la trajectoire de la Wiimote et l'axe Y à la direction normale. Les pointillés indiquent l'instant où le pendule est lâché. L'unité en ordonnée correspond à $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$.

À titre de comparaison, nous donnons des signaux d'accélération calculés numériquement par simple puis double dérivation numérique des quantités de l'équation (2) en utilisant un capteur d'angle (un potentiomètre multitours avec de faibles frottements fixé sur l'axe de rotation du même pendule pesant). Pour que la comparaison soit équitable, nous prenons la même période d'échantillonnage. Sur la figure 4, on voit que le rapport

signal sur bruit en sortie du capteur d'angle est meilleur que celui de l'accéléromètre de la Wiimote. En revanche, le rapport signal sur bruit de la dérivée seconde est beaucoup moins bon que celui de la Wiimote.

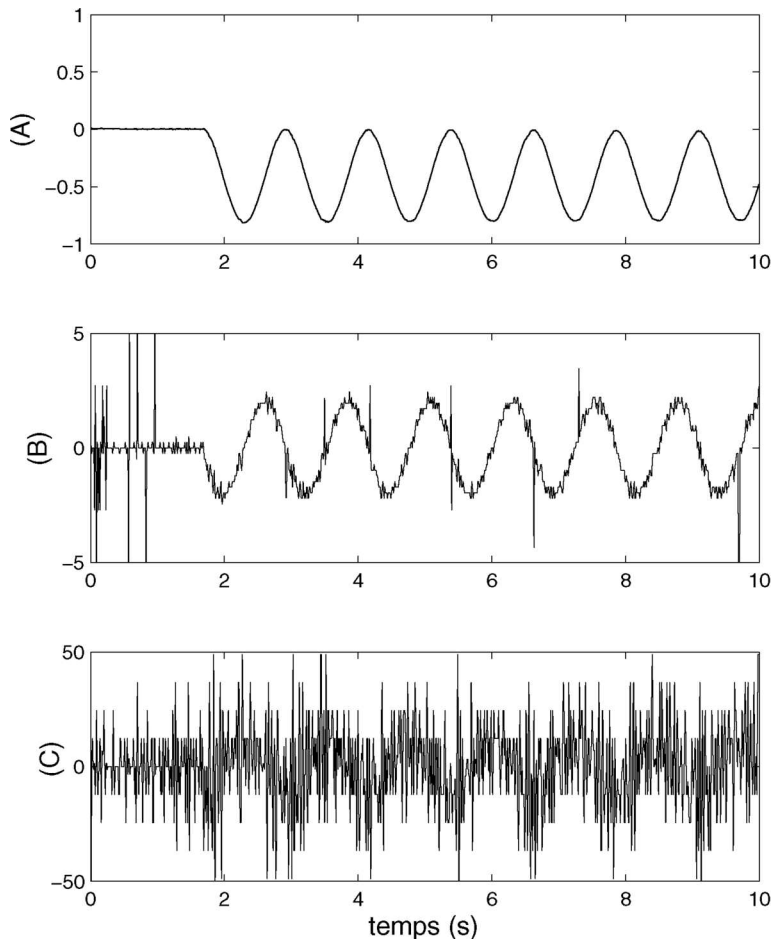


Figure 4 : (A) tension issue d'un capteur d'angle ; (B) dérivée première du signal de la ligne (A) ; (C) dérivée seconde du signal de la ligne (A).

La sensibilité de l'accéléromètre de la Wiimote permet l'étude d'autres phénomènes. Parmi ceux que nous avons testés, citons l'étude de chocs sur une table à coussin d'air, ou encore des phénomènes vibratoires en fixant la Wiimote sur un pot vibrant. On peut également s'écarter de phénomènes physiques bien connus pour étudier les accélérations en jeu dans des gestes sportifs (tennis, base-ball, golf, ...) mimés avec la Wiimote en main.

CONCLUSION

Nous avons présenté comment, pour la somme de 59,99 €, il était possible de détourner de son usage un contrôleur de jeu vidéo pour mesurer des accélérations. Les limites du capteur incorporé dans le contrôleur ont été indiquées et une liste non exhaustive d'expériences réalisables, malgré ces limitations, a été proposée. Au-delà de la mise en œuvre pratique de ce contrôleur pour la réalisation d'expériences de mécanique, on peut s'interroger sur l'intérêt pédagogique d'une telle démarche. La mesure indirecte de l'accélération, telle qu'elle est pratiquée actuellement dans l'enseignement secondaire, nous semble tout à fait adaptée en ce sens qu'elle permet de construire progressivement et en lien avec les programmes de mathématiques, les grandeurs cinématiques vitesse et accélération. Court-circuiter ces étapes pour mesurer directement l'accélération ne nous semble pas, *a priori*, un moyen forcément plus efficace de faire comprendre que c'est, contrairement à la vision aristotélicienne, la variation de vitesse du centre d'inertie du système qui est reliée à la somme des forces extérieures appliquées au système. À notre sens, l'intérêt pédagogique du dispositif décrit dans cet article s'exprimerait davantage dans le cadre d'un enseignement sur la notion de capteur destiné à des élèves ayant déjà reçu un enseignement en mécanique sur les lois de Newton.

La notion de capteur est par exemple enseignée dans les années de préparation aux concours de l'enseignement (CAPES, agrégation). Dans les ouvrages destinés à ces enseignements (voir par exemple [8] pour le concours du CAPES), les notions liées aux capteurs se confondent souvent à l'étude de la transduction par un élément sensible. Avec la miniaturisation des composants et les possibilités offertes par les progrès de l'électronique numérique et de l'informatique dans le domaine des réseaux de communication, le capteur ne se limite plus, dans un contexte industriel, à sa partie sensible. On parle ainsi de capteur intelligent lorsqu'il associe [9] un ou plusieurs transducteurs, des conditionneurs spécifiques, une mémoire, une alimentation, un organe intelligent interne permettant un traitement local et l'élaboration d'un signal numérique, une interface de communication. Tous ces éléments sont présents dans la Wiimote, c'est pourquoi nous pensons qu'elle peut être utilisée pour introduire, à moindre coût et de façon ludique, ce concept actuel de capteur intelligent. Un exemple de présentation expérimentale de la notion de capteur intelligent, sur la base de l'expérience du pendule pesant des figures 3 et 4, est disponible en vidéo sur le site de la préparation au CAPES de sciences physiques de l'Université d'Angers [5].

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] <http://www.analog.com>
- [2] ASCH G. et Coll. *Les capteurs en instrumentation industrielle*. Paris : Dunod, 1999.
- [3] <http://simulatedcomicproduct.com/blog.php>
- [4] <http://www.wiili.org/index.php/Wiimote>
- [5] <http://ead.univ-angers.fr/~capespc/> ---> Cliquer sur le lien électricité puis sur

celui du montage 24 (notion de capteur). Les fichiers sont dans la dernière rubrique : autres ressources.

- [6] BRAY J. et STURMAN C. F. *Bluetooth 1.1 connexions sans fil*. Paris : CampusPress, 2002.
- [7] BOUYRIE G. « Physique et calcul différentiel ». *Bull. Un. Phys.*, février 2003, vol. 97, n° 851 (1), p. 275-298.
- [8] BELLIER J.-P., BOULOY C. et GUÉANT D. *Montage de physique : électricité électromagnétisme, électronique, acoustique*. Paris : Dunod, 2007.
- [9] GAURA E., NEWMAN R. et KRAFT M. *Smart Mems And Sensor Systems*. London : Imperial College Press, 2006.



François-Xavier INGLÈSE

Docteur en réalité virtuelle.

Chercheur au Laboratoire d'ingénierie des systèmes automatisés (LISA).



David ROUSSEAU

Agrégé de physique, docteur en traitement du signal.

Enseignant au Département de physique de la Faculté des sciences d'Angers.

Chercheur au Laboratoire d'ingénierie des systèmes automatisés (LISA).