

# SPHERO



<https://www.youtube.com/watch?v=1S5IUDvlu3A>

## 1. Présentation du support

### 1.1. Description du robot Sphero

Une nouvelle génération de robots à mobilité non conventionnelle a vu le jour avec la conception de robots en forme de sphère. Ces robots commencent à être utilisés dans des environnements difficiles (centrale nucléaire, terrain irrégulier) pour des missions d'inspection et de surveillance. Ce type de robot est aussi présent dans l'industrie du divertissement sous la forme d'objets connectés contrôlables avec un smartphone (ou tablette).

C'est le cas du robot **Sphero** créé par la société Orbotix et qui sert de support d'étude pour ce sujet.

Créé pour le loisir et l'éducation, le robot Sphero roule sur lui-même pour se déplacer. Une base robotique appelée module interne et dite différentielle (plateforme munie de deux roues motrices indépendantes, de même axe) est placée dans une sphère (le corps du robot) qui sert de liaison au sol et permet le déplacement (figure 1).

Le Sphero est commandé par un smartphone avec lequel l'utilisateur guide le robot.



Figure 1 Constitution du Sphero

Même si les consignes de l'utilisateur correspondent au comportement attendu du Sphero (cap et vitesse du corps sphérique), c'est en réalité le module interne que l'utilisateur commande grâce à son smartphone. Le principe de déplacement du Sphero peut être comparé à celui d'une roue de hamster : quand l'animal court à l'intérieur, il déplace le centre de gravité du système, ce qui fait tourner la roue. Ainsi, les deux roues motrices du module interne créent le roulement du corps sphérique du Sphero.

## 1.2. Manipulation et déplacement du robot Sphero

Pour commander le robot l'utilisateur dispose d'une application sur son smartphone (ou sa tablette). Une fois la connexion bluetooth établie entre le Sphero et le smartphone, l'utilisateur peut mettre en mouvement le robot grâce à une interface tactile (figure 2). L'utilisateur place son doigt au centre du cadran (sur le curseur ayant le sigle Sphero) puis le déplace dans le cadran. La position du doigt sur le cadran fournit une consigne de cap (par rapport à la marche avant) et de vitesse au robot : plus le doigt est éloigné du centre du cadran plus le robot va vite.

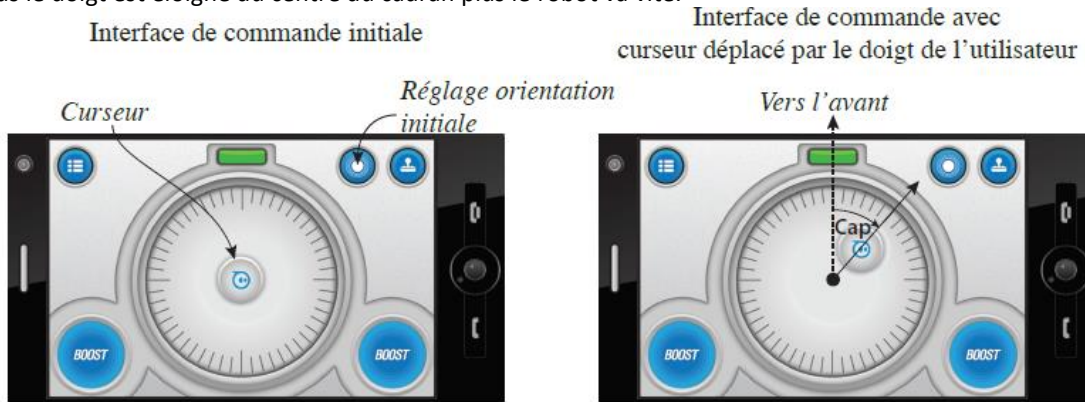


Figure 2 Interface homme-machine (IHM) de commande du Sphero

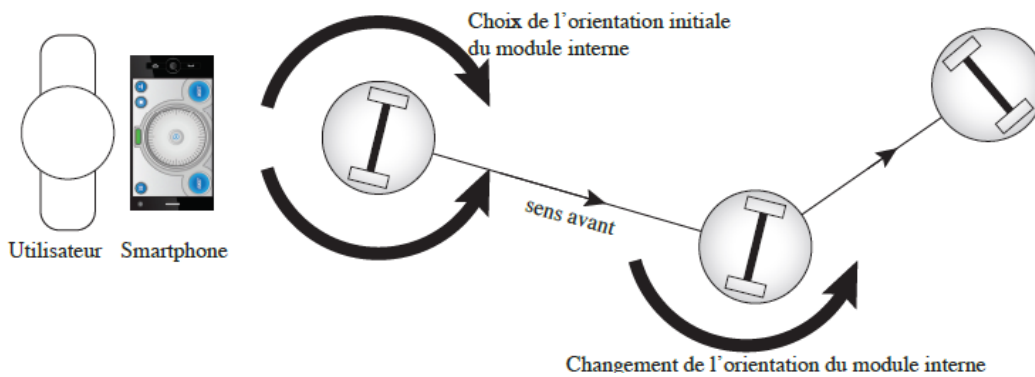


Figure 3 Déplacement du robot

Un exemple de déplacement du robot Sphero est décrit par la figure 3. Pour un cap donné le Sphero se déplace selon une trajectoire rectiligne. Lorsque le cap est changé par l'utilisateur, le module interne change son orientation autour d'un axe vertical de lacet et une nouvelle direction est ainsi imposée au Sphero. Ce dernier reprend un déplacement en ligne droite suivant le nouveau cap.

Afin que l'utilisation du robot soit à la hauteur des attentes de l'utilisateur, le robot Sphero doit satisfaire les exigences définies figure 4.

## 2. Étude préliminaire et respect de l'exigence 2 de maniabilité

Cette partie préliminaire propose de mener une analyse comportementale du Sphero afin de mettre en évidence la problématique qui sera traitée dans ce sujet. Cette analyse permettra de définir l'objectif du sujet.

Un essai est réalisé avec le Sphero en mode non asservi. Les capteurs du robot ne sont pas utilisés pour la commande de ce dernier (figure 5).

La figure 5 montre la trajectoire suivie par le Sphero lors de l'essai. Le Sphero est en mode non asservi et connecté à un ordinateur (liaison sans fil). À l'écran de l'ordinateur est affiché un parcours délimité par deux lignes et l'utilisateur peut cliquer à l'écran pour imposer au Sphero une consigne de cap. Celle-ci correspond à la direction du vecteur ayant pour origine la position mesurée du Sphero au moment du clic et pour extrémité le point cliqué à l'écran. L'expérimentation est réalisée en intérieur et sans aucune perturbation pouvant altérer le fonctionnement du robot. La vitesse du robot est volontairement limitée à 50% de sa vitesse maximale afin de rendre la manipulation plus aisée pour l'utilisateur.

**Q 1.** En considérant le Sphero comme parfaitement asservi aux consignes de clic de l'utilisateur, quel serait le nombre minimal de consignes de changement de cap nécessaire pour faire évoluer le robot selon la trajectoire théorique ? Pour chacune de ces consignes de changement de cap quelle est la valeur du cap imposé (à l'instant initial le cap est de 0 deg) ?

**Q 2.** D'après l'expérimentation, l'exigence 2 de maniabilité est-elle respectée ? Justifier la réponse à partir du nombre d'actions de changement de cap réalisées par l'utilisateur lors de l'expérimentation.

Au vu de l'essai analysé précédemment il apparait que sans commande spécifique le robot Sphero n'atteint pas toutes les exigences attendues. Le comportement précédemment observé impose à l'utilisateur de compenser sans cesse les défauts de trajectoire du Sphero, ce qui rend ce dernier difficilement maniable et donc inutilisable.

**Objectif**

Évaluer les solutions techniques mises en jeu dans la conception du Sphero et déterminer une commande du Sphero permettant à ce robot d'atteindre les exigences de stabilité, de maniabilité et de respect des consignes de l'utilisateur.

Deux aspects de la commande du robot Sphero seront étudiés : la génération des consignes de cap et de vitesse envoyées au Sphero et le principe de commande de la chaîne d'énergie du Sphero.

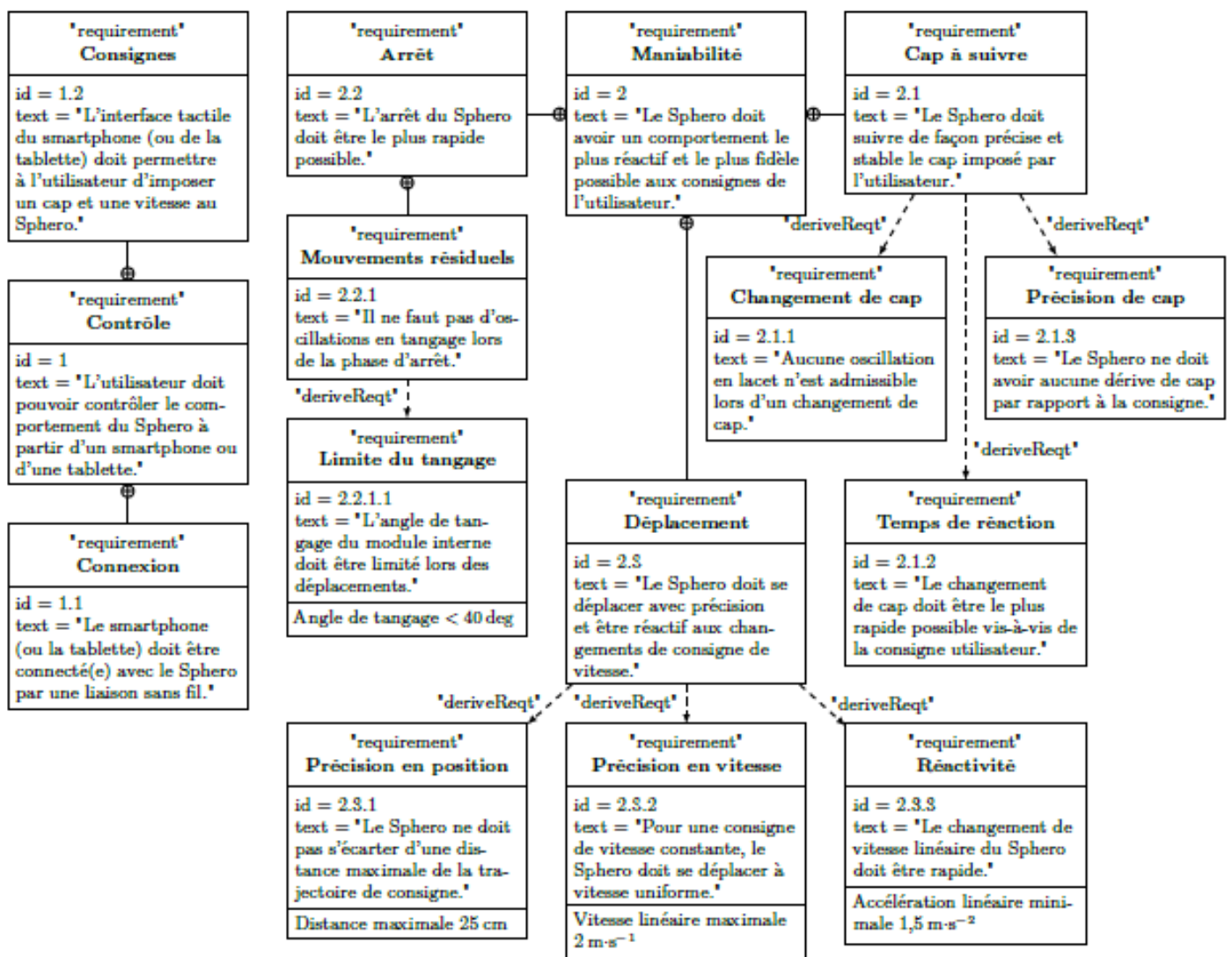


Figure 4 Diagramme des exigences du Sphero

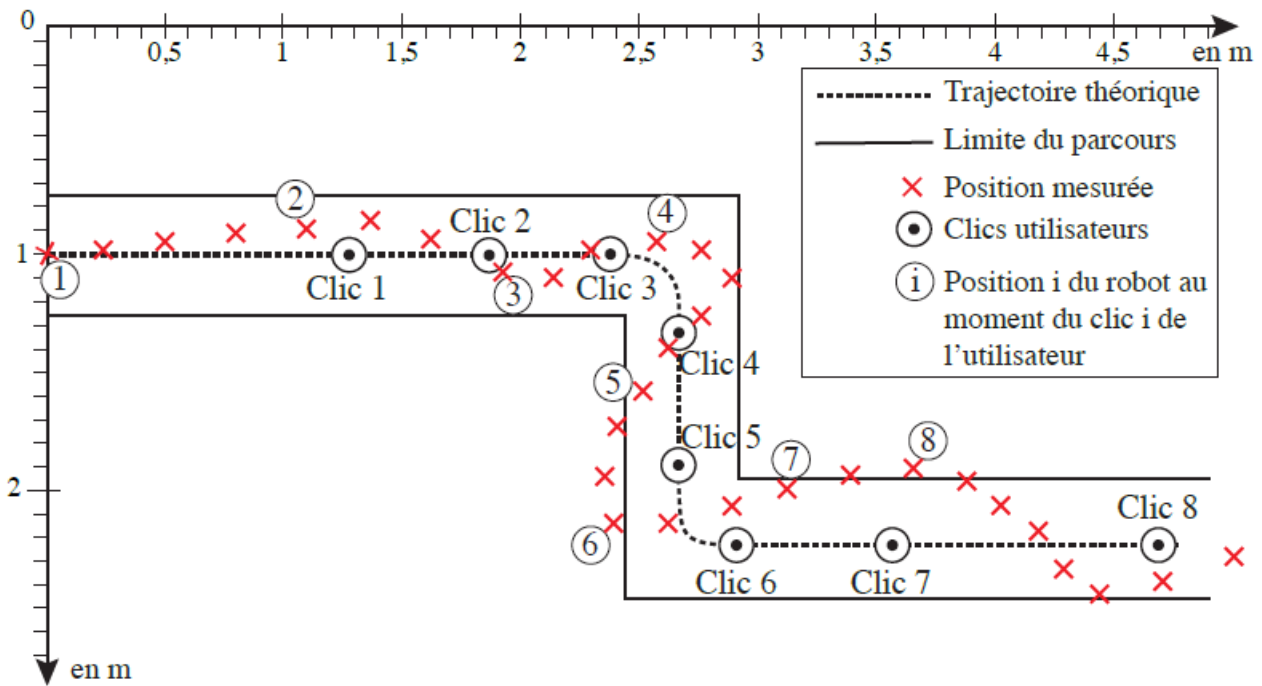


Figure 5 Trajectoire du Sphero

### 3. Interfaçage utilisateur / Sphero (exigence 1 de contrôle)

Une première approche de la commande du robot Sphero concerne la génération des consignes de cap et de vitesse à envoyer au robot.

**Objectif**

Concevoir un algorithme générant les consignes d'utilisation du Sphero (vitesse et cap) à partir de la manipulation de l'interface tactile.

#### 3.1. Présentation de la technologie des écrans tactiles capacitifs

Dans les écrans tactiles capacitifs simples, la surface de l'écran est recouverte d'une couche conductrice protégée par une couche isolante (verre, plastique, etc.). Lorsqu'un objet conducteur (comme le doigt de l'utilisateur) touche la couche isolante, il crée une capacité à l'endroit du contact. Étant donné que la couche conductrice est résistante, l'impédance mesurée à chaque coin de l'écran est différente et la comparaison des mesures effectuées aux quatre coins permet de localiser le point de contact. Les écrans tactiles capacitifs plus élaborés fonctionnent sur le même principe mais utilisent un réseau d'électrodes au lieu d'une couche conductrice continue, ce qui permet la détection de plusieurs points de contacts simultanés.

Une unité de traitement récupère les mesures des capteurs et construit une matrice  $A$ , de mêmes dimensions que celles du réseau d'électrodes.

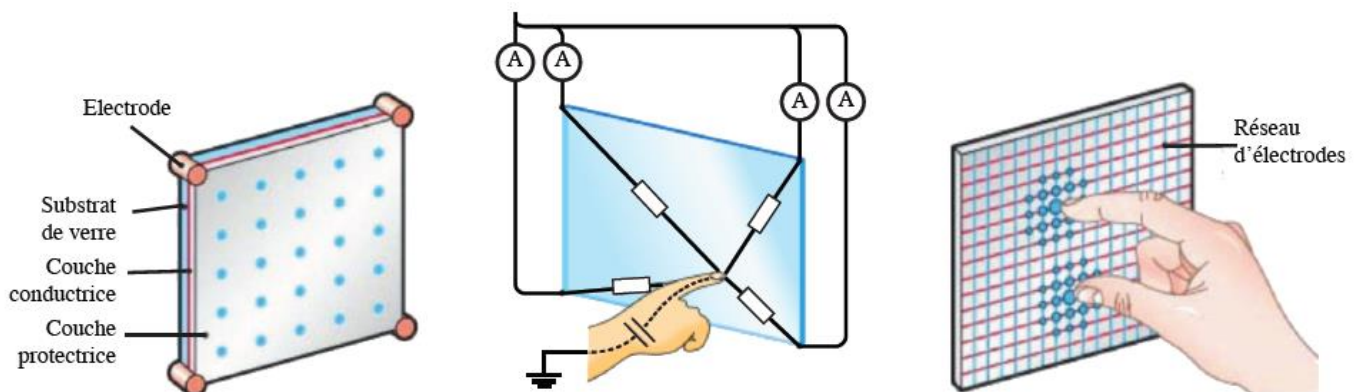


Figure 6 Principe d'une surface tactile capacitive



### 3.2. Interface graphique et respect de l'exigence 1

La zone de l'interface graphique utilisée pour guider le robot à partir d'un smartphone est présentée sur la figure 7. En faisant glisser le curseur à l'intérieur du cadran, l'utilisateur indique au Sphero une consigne de cap et de vitesse. L'écran considéré a une taille de 1334 × 750 pixels. On suppose que les pixels sont carrés et qu'à chaque pixel d'affichage est associé un point du réseau d'électrodes.

- Q 3. En déduire la largeur et la hauteur de l'écran en cm sachant que sa diagonale est de 4,7 pouces (11,938 cm).
- Q 4. En déduire la taille en cm d'un pixel.
- Q 5. Calculer, en pixels, les dimensions de la surface de contact d'un doigt sachant qu'elle correspond approximativement à un carré d'une surface de 1 cm<sup>2</sup> (arrondir au pixel supérieur).
- Q 6. Le curseur circulaire de l'interface graphique est contenu dans un carré de largeur 170 pixels. Le choix du curseur est-il compatible avec le contrôle du Sphero par l'utilisateur ?

## 4. Architecture détaillée du robot Sphero

La composition du robot est fournie par le diagramme de définition des blocs figure 8.

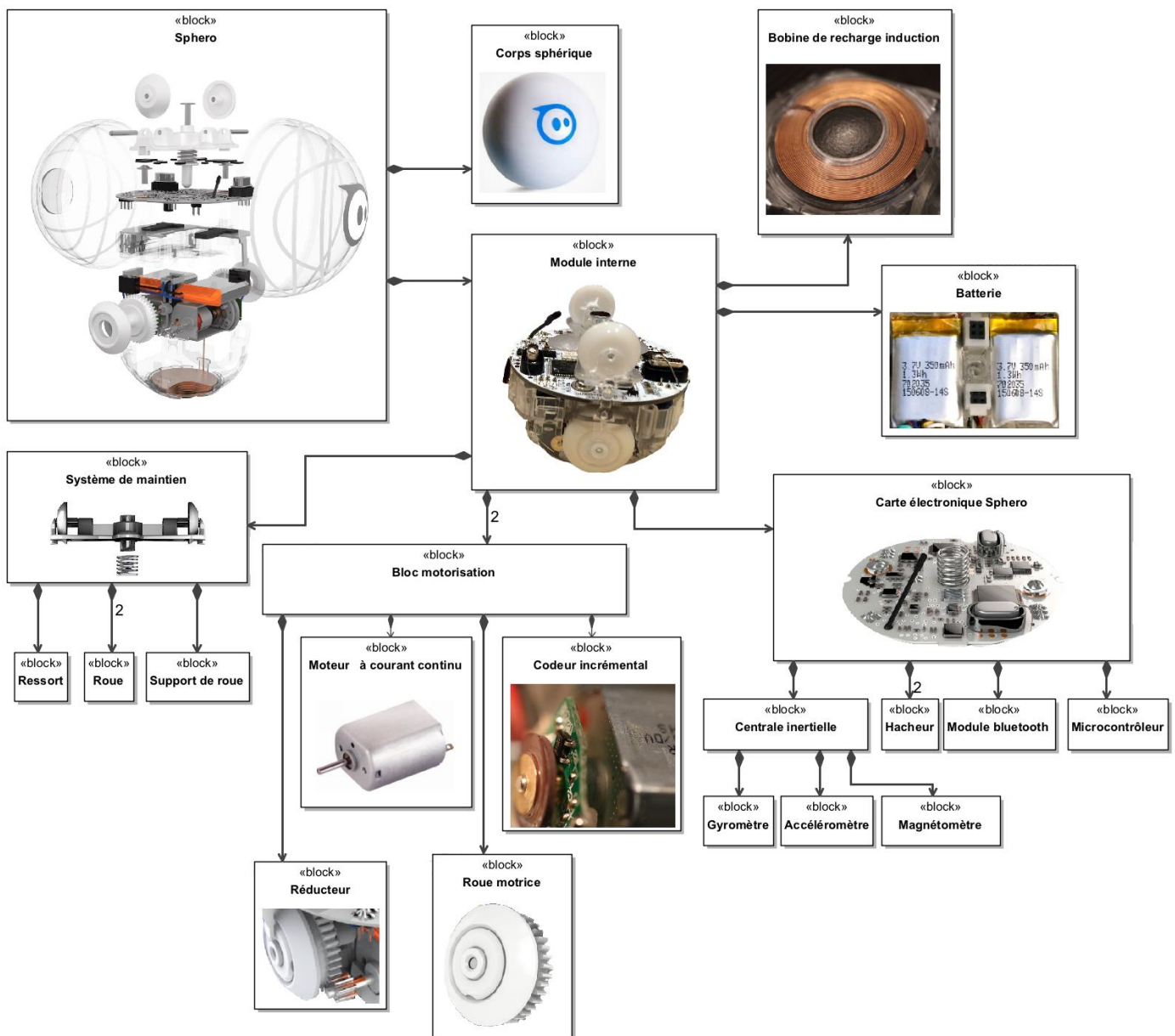


Figure 8 Diagramme de définition des blocs du Sphero

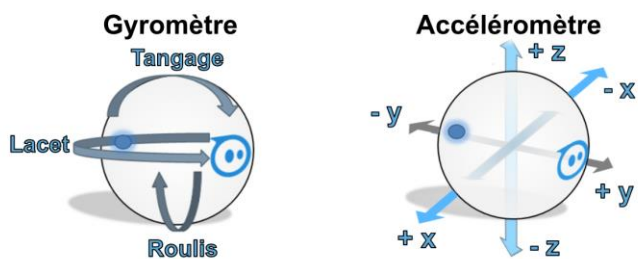


Figure 9 Illustration des informations acquises par la centrale inertielle

L'avance et l'orientation du robot sont créées par le module interne qui possède deux blocs de motorisation identiques et indépendants (comprenant chacun en particulier une roue motrice et un moteur). Le module interne est également équipé d'une centrale inertielle composée d'un magnétomètre (mesure du champ magnétique terrestre), d'un accéléromètre numérique (qui calcule les déplacements selon trois axes par double intégration des accélérations mesurées) ainsi que d'un gyromètre (mesure des vitesses de rotation en  $\text{deg. s}^{-1}$  autour de trois axes) permettant d'acquérir les informations décrites par la figure 9.

Q 7. Compléter la description chaîne d'information / chaîne d'énergie du robot Sphero.

