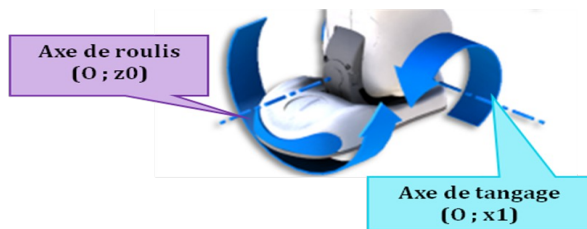


## Problème technique

Pour assurer au robot NAO des performances élevées, le constructeur a choisi d'asservir la position des axes de tangage et de roulis de sa cheville.

De façon à prédire les performances du mécanisme, nous nous proposons ici de construire **un modèle de comportement** (identification expérimentale de l'asservissement en tangage, avec globalement influence jeux, limitations, frottements,...) et plus particulièrement influence des **inerties sur les performances : stabilité, rapidité, précision**.



### Objectif et démarche

La démarche d'identification permet la caractérisation d'un modèle associé à ce système, à partir de relevés expérimentaux.


L'objectif de ce TP est de construire le schéma bloc de l'asservissement et de déterminer les valeurs numériques des coefficients relatifs aux fonctions de transfert correspondantes.

Le système est excité à partir d'entrées connues (échelon pour une identification temporelle ou sinusoïde pour une identification fréquentielle) et les mesures des sorties correspondantes sont analysées pour permettre de mettre en place le ou les modèles associés.

Enfin, le diagnostic des écarts entre les résultats théoriques et les réponses expérimentales permet de se prononcer sur la représentativité de cette modélisation.

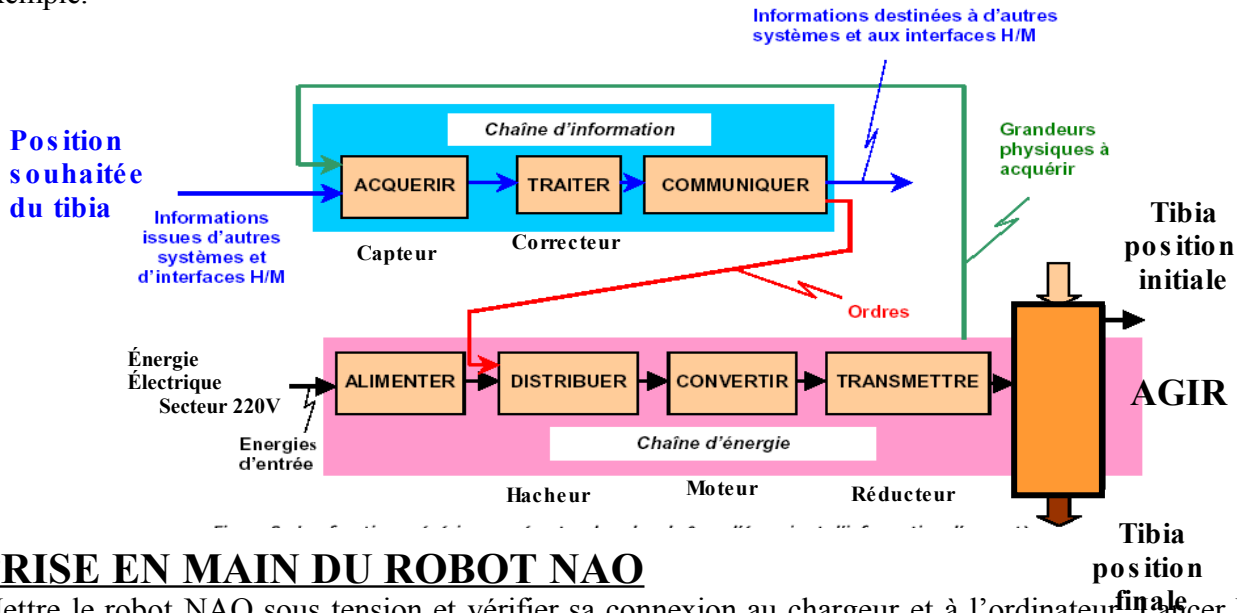
## Table des matières

Table des matières.....	2
Prise en main du robot NAO.....	3
Prise en main de l'ensemble Cheville.....	3
Analyse structurelle de l'asservissement.....	4
Etude expérimentale en Boucle Ouverte.....	4
Validation de la modélisation.....	7
Diagnostic et synthèse.....	8



**Dossier pédagogique**  
**Modèle de comportement de l'axe de tangage**

La structure d'un axe (tangage ou roulis) peut être représentée par une chaîne fonctionnelle constituée d'une chaîne d'énergie et d'une chaîne d'information, élaborant le déplacement du tibia pour l'axe de tangage, par exemple.



### PRISE EN MAIN DU ROBOT NAO

Mettre le robot NAO sous tension et vérifier sa connexion au chargeur et à l'ordinateur. Lancer NAOQI pour l'initialisation.  
 Lancer CHOREGRAPHE en double cliquant sur le fichier Debout-Marche-Assis.crg.  
 Cliquer CONNEXION, sélectionner la ligne NAO.et cliquer sur CONNECT. Cliquer sur PLAY pour lancer le programme. Faire de même pour le fichier : Taichi.crg.  
*Observer en particulier les mouvements de tangage et de roulis de la cheville de NAO.*

### PRISE EN MAIN DE L'ENSEMBLE CHEVILLE

Vérifier que la cheville est connectée à l'ordinateur puis lancer le logiciel de commande et d'affichage NAO-dev.exe.

Cliquer sur MESURES.  
 L'écran ci-dessous s'affiche.

The screenshot shows the "Mesures" (Measurements) window of the NAO-dev software. It features a control panel on the left with various settings for the leg joint's movement.

- Entrées standard (Standard Inputs):** Includes radio buttons for "Aucune", "Echelon", "Rampe", "Parabole", "Sinus", and "Courbe".
- Paramètres (Parameters):** Includes sliders for "Amplitude (°)" (set to 10.0), "Période (s)" (set to 0.1), "Début (s)" (set to 0.0), and "Angle initial (°)" (set to 0.0).
- Commandes (Commands):** Includes "Tangage" (Pitch) and "Roulis" (Roll) tabs, with "Durée (s)" set to 2.00 and "Incrément de temps (s)" set to 0.01.
- Asservissement réducteur (Reduction Servo):** A block diagram showing the control loop for the joint, including "Consigne de roulis" and "Consigne de tangage" inputs, "PID\_ch" controllers, and "Dériv." (Derivative) blocks.
- 3D Model:** A 3D model of the robot's leg joint is shown on the right, with labels for "Angle de roulis" and "Angle de tangage".

Réponse indicielle

Envoyer en entrée un échelon de position d'amplitude  $10^\circ$ , de début = 0 et de durée 2s sur l'axe de tangage commandé en Boucle Fermée avec  $K_p$  (coefficient du correcteur proportionnel) = 200 (Pour que l'axe de roulis reste inactif dans toute l'étude, mettre en place une commande en échelon d'amplitude nulle sur cet axe).

Lancer la MESURE ; l'axe rejoint sa position initiale puis le mouvement demandé s'exécute.

Réaliser l'IMPORT. Fermer la fenêtre de MESURE et ouvrir la fenêtre d'AFFICHAGE DE COURBES ; Cocher la mesure N° 1.

Avec AJOUTER, afficher la position en entrée (COMMANDE) et celle en sortie (ANGLE REDUCTEUR) de l'axe de tangage en fonction du temps.

Observer les courbes obtenues.

Remarque : l'utilisation de l'option ZOOM TOUT  permet de voir au mieux les courbes.

Réponse harmonique :

Envoyer une entrée sinusoïdale d'amplitude  $10^\circ$ , de période 0.1 s, de début nul et de durée 2s sur l'axe de tangage, commandé en Boucle Fermée.

Afficher la position en entrée et celle en sortie de l'axe de tangage en fonction du temps.

Observer les courbes obtenues.

## ANALYSE STRUCTURELLE DE L'ASSERVISSEMENT

**Q1 :** A partir des données ci-dessus et du dossier technique, compléter le schéma bloc du document réponse modélisant l'asservissement de l'axe de tangage en inscrivant le nom du composant associé à chaque bloc.

Sur la cheville de NAO, chaque axe (tangage et roulis) possède 2 capteurs de position angulaire : le capteur utilisé dans l'asservissement est celui situé à la sortie du réducteur, coté tibia pour l'axe de tangage. L'autre capteur est situé sur l'axe moteur.

## ETUDE EXPERIMENTALE EN BOUCLE OUVERTE

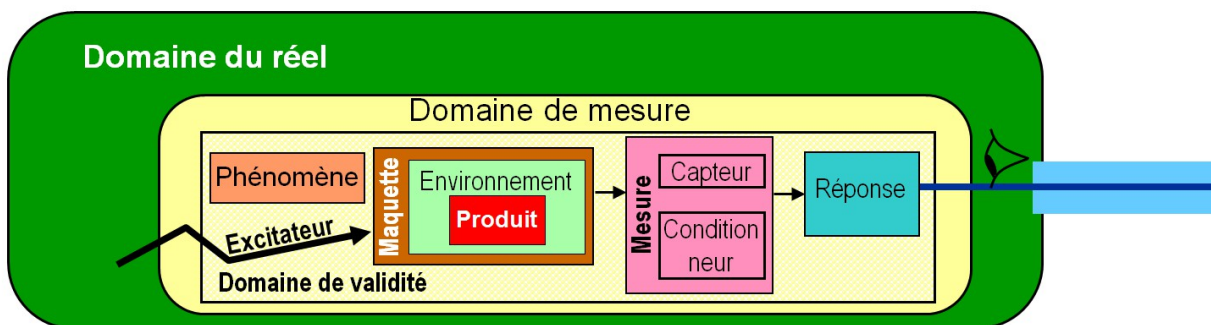
Il s'agit dans cette partie d'effectuer une identification fréquentielle en Boucle Ouverte de l'axe de tangage.

Réponse indicielle en Boucle Ouverte :

Lancer une commande en échelon en Boucle Ouverte de  $10^\circ$  avec  $K_P = 200$ .

**Q2 :** Observer puis justifier le comportement de l'axe de tangage.

Réponse harmonique en Boucle Ouverte :



On soumettra le système à une entrée sinusoïdale de fréquence (période) entre environ 0.25 Hz (4s) et environ 10Hz (0.1s). désire

Choisir en entrée une consigne sinusoïdale avec une amplitude de  $10^\circ$ , en commençant par une période de 1s par exemple.

**Q3 :** *A l'aide de la documentation technique, compléter le tableau (donné sur le document réponse) caractérisant cet essai.*

**Q4 :** *Analyser le mouvement, et plus particulièrement l'évolution de la sortie. Conclure.*

**Q5 :** *Imaginer une disposition de la cheville dans l'espace permettant de ne pas prendre en compte les perturbations dues à la pesanteur. Faire l'essai en vous servant du support réglable.*

**Q6 :** *Identifier d'autres perturbations potentielles pouvant justifier l'évolution de la sortie.*

**La cheville sera chargée avec une masse de 1 kg disposée sur la tige à 0,35m de l'axe de rotation de tangage.**

**On peut remarquer que l'inertie simulée est importante : moment d'inertie autour de l'axe de sortie du réducteur  $J = MR^2 = 1 \cdot (0.35)^2 = 0.12 \text{ kgm}^2$ . Ces conditions sont un peu sévères pour la cheville, mais traduisent des situations possibles sur le robot NAO.**

Pour augmenter sa durée de vie et gérer au mieux l'utilisation de la batterie sur le robot, le moteur est protégé. Le courant est écrêté lorsqu'il dépasse 0.7 A.

Le PWM est un pourcentage de la tension d'alimentation du moteur ; celle-ci correspond à :  
 $50 / 128 \times U_{\text{alimentation}} (24V)$ , si PWM = 50. Il sera donc limité à la valeur 128.

**Q7 :** *Vérifier les valeurs du courant moteur et du PWM lors de cet essai. Conclure.*

Afficher l'entrée (COMMANDE) et la sortie (ANGLE REDUCTEUR) en fonction du temps.

Les essais ci-dessous sont réalisés dans la position imaginée à la question précédente ; les résultats des mesures sont capitalisés dans le tableau fourni sur le document Excel joint (bode-tangage-BO-Kp200.xls)

**Q8 :** *Relever la période, l'amplitude et le déphasage de la sortie par rapport à l'entrée en régime établi. Tracer la FTBO ainsi mesurée dans le plan de Bode.*

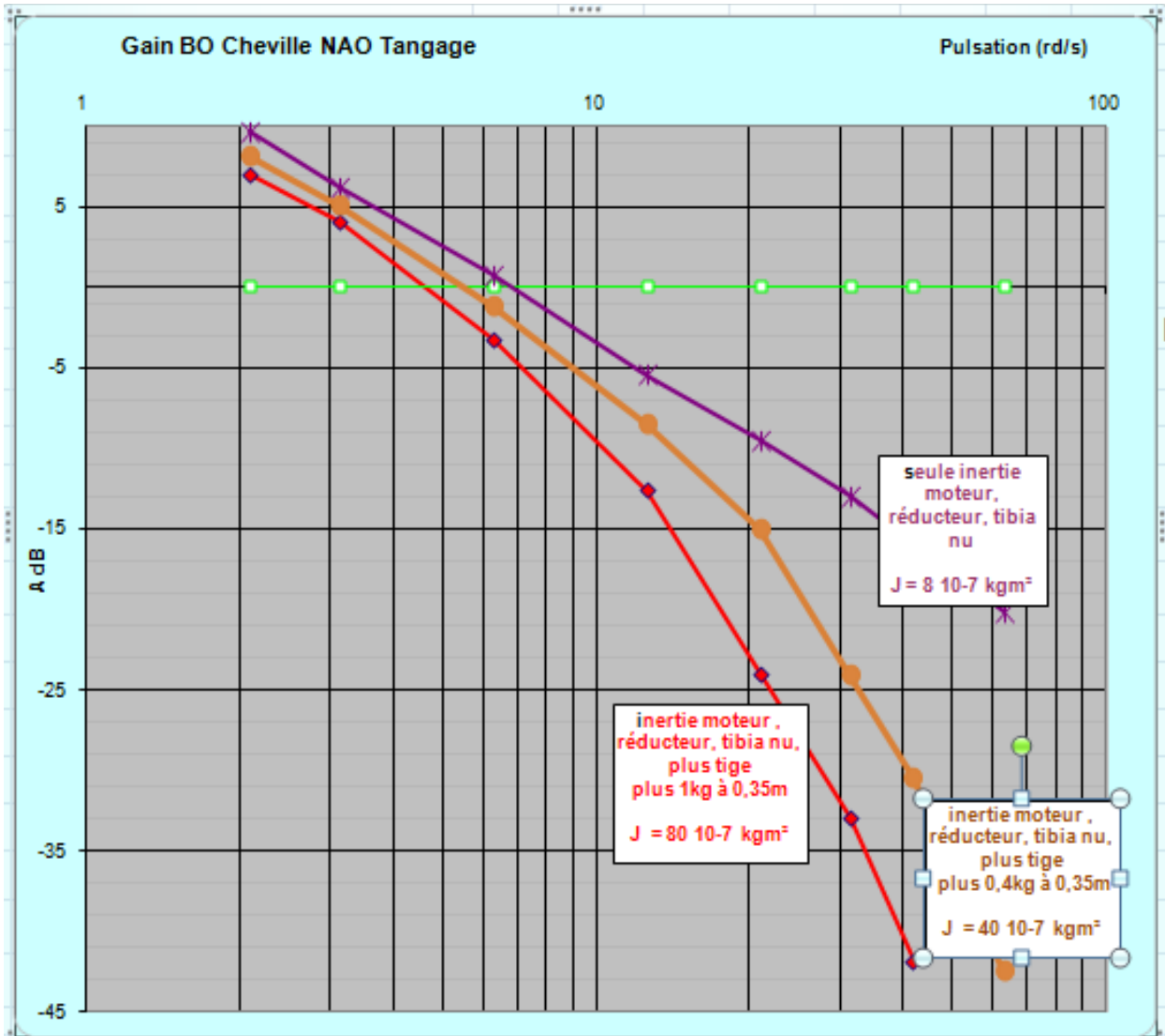
**Q9 :** *Commenter les réponses obtenues pour des valeurs de périodes faibles (inférieures à 0.2s) et élevées (supérieures à 4s) ?  
Quel phénomène justifie le choix d'amplitude faible ?  
Commenter la précision des résultats obtenus, quels sont les paramètres influents ?*

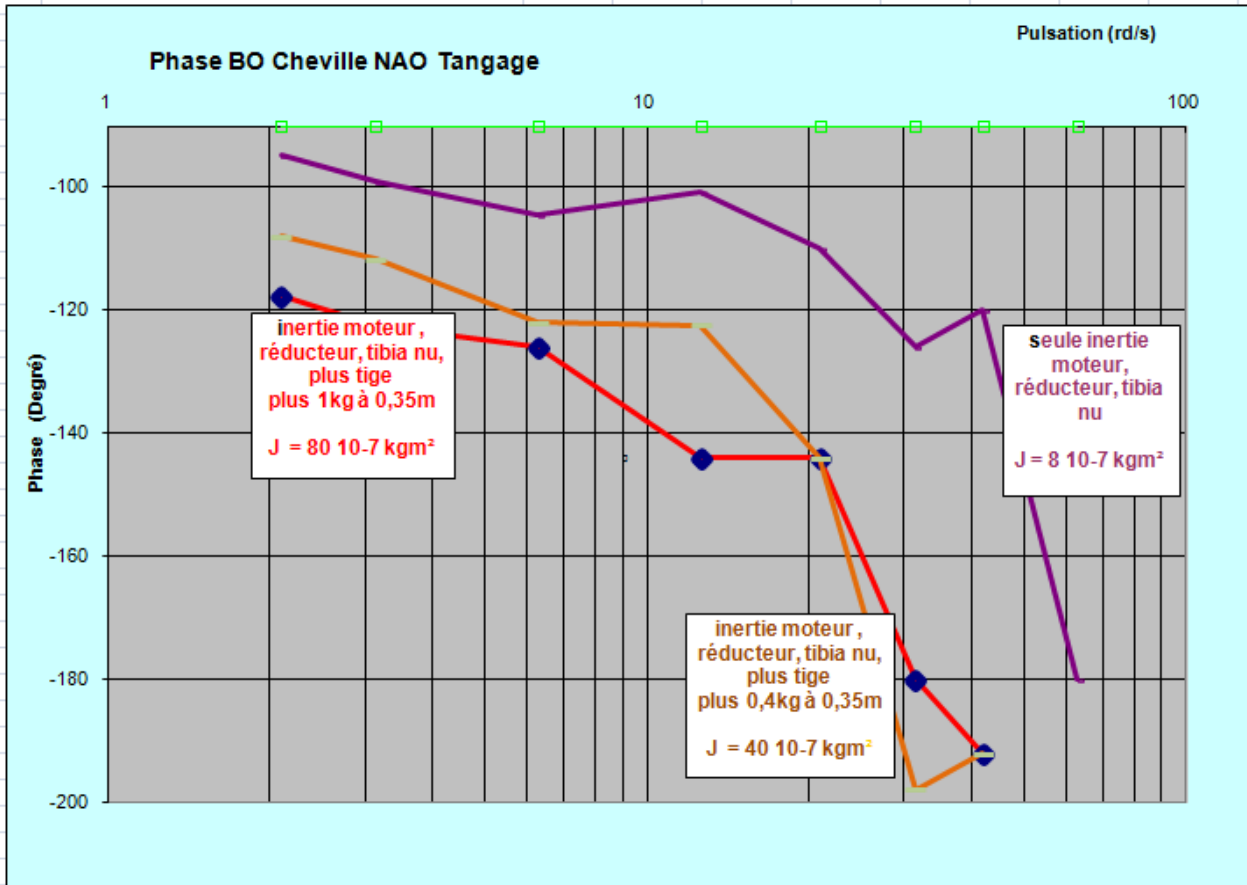
**Q10 :** *Discuter la stabilité actuelle (**Kp actuel = 200**) de l'asservissement de l'axe de tangage en mesurant la marge de phase.  
A partir du diagramme de Bode tracé expérimentalement, calculer les valeurs de Kp permettant d'obtenir une marge de phase de  $45^\circ$  puis une marge de phase de  $0^\circ$  (limite de stabilité).*

**Q11 :** *Déterminer la forme de la FTBO identifiée à partir du tracé expérimental dans le plan de Bode. Justifier.  
Dans le plan de Bode, superposer le tracé théorique au tracé expérimental puis déterminer les caractéristiques de la FTBO notée BO(p).*

**Influence de J : moment d'inertie de l'ensemble par rapport à l'axe de rotation du moteur**

On donne le résultat expérimental suivant obtenu dans les mêmes conditions mais lorsque la cheville est chargée avec une masse de 0.4kg à 0.35 m et lorsque qu'elle n'est pas chargée : aucune masse sur la tige fixée au tibia.





**Q12 :** Comparer qualitativement les deux diagrammes : cheville nue et cheville chargée.

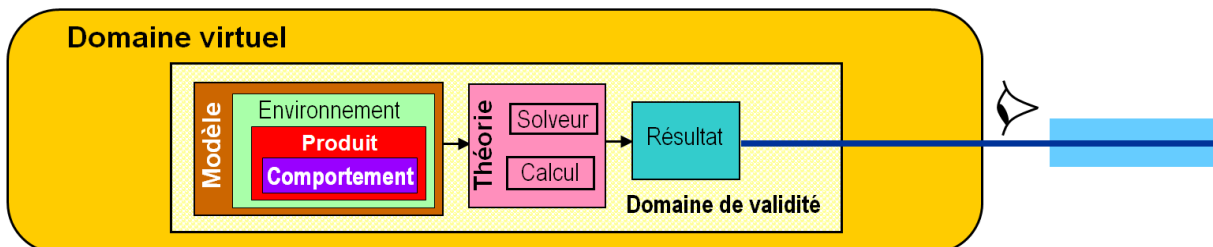
**Q13 :** Déterminer la forme de la FTBO identifiée à partir du tracé expérimental dans le plan

**Q14 :** A partir des résultats expérimentaux précédents, donner numériquement les fonctions de transfert  $C(p)$  et  $H(p)$  en supposant le gain statique de  $H(p)$  unitaire.

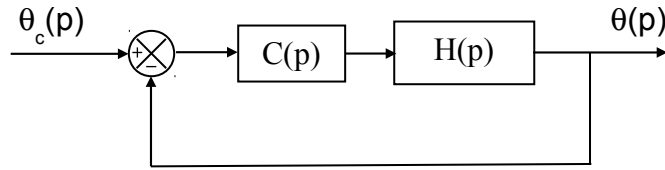
**Q15 :** Conclure sur les performances : stabilité, rapidité et précision en fonction de  $J$  : moment d'inertie de l'ensemble par rapport à l'axe de rotation du moteur.

## VALIDATION DE LA MODÉLISATION

L'objet de cette partie est de , à partir des résultats expérimentaux obtenus précédemment, valider cette modélisation.



Le schéma bloc de l'asservissement en position de l'axe de tangage peut se mettre sous la forme ci-dessous :



**Q16 :** Compléter le tableau de modélisation donné sur le document réponse.

*Quelles hypothèses justifient le choix d'amplitude faible ?*

*Quelles dispositions pratiques en termes de manipulations et mesures faudrait il alors prendre , avant de valider le modèle proposé ?*

**Q17 :** A partir des résultats expérimentaux précédents, donner numériquement les fonctions de transfert  $C(p)$  et  $H(p)$  en supposant le gain statique de  $H(p)$  unitaire.

**Q18 :** Lancer une mesure avec une entrée échelon de  $10^\circ$ , cheville chargée puis cheville nue, en faisant varier la valeur de  $K_p$  (200, 400 et 600 par exemple).

*Observer la différence entre l'écart statique théorique et celui mesuré, puis donner une cause potentielle pouvant la justifier.*

*Préciser le domaine de validité de la modélisation.*

## DIAGNOSTIC ET SYNTHÈSE

**Q19 :** Proposer des solutions techniques et des activités qui permettraient d'affiner la modélisation. Conclure.

**Q20 :** Sur le document réponse, placer des flèches entre les domaines du réel et du virtuel montrant les activités réalisées dans ce TP ; associer un verbe d'action à l'infinitif à chaque flèche (modéliser, valider, identifier, observer, ...).