

I. Présentation du TP

1. Problème technique

Vérifier la validité d'une solution technologique et proposer une modification du mécanisme (rendre isostatique)

2. Compétences visées

- **Analyser** les solutions technologiques associées à un système.
- **Modéliser** les liaisons mécaniques.
- **Analyser la mobilité et l'hyperstatisme.**
- **Prévoir la Résolution** d'un problème de statique ou cinématique pour déterminer une loi entrée sortie.

3. Pré-requis

- Programme de statique et de cinématique de première année.
- Utilisation d'un logiciel de CAO (solidworks)

4. Matériel utilisé

- Système maxpid ;
- système maxpid en pièces détachées ;
- ordinateur avec logiciel de commande et d'acquisition ;
- logiciel de Conception assisté par ordinateur (solidworks) .



5. Différents rôles

Ce Tp est organisé en îlot, ainsi quatre rôles sont définis :

- **Chef de projet** : doit réaliser l'analyse fonctionnel du système en lien avec les différentes modélisation (expérimentales, analytiques et numériques) et ainsi définir une problématique : guide d'avancement donné en **partie II et VIII**. Il devra également veiller à la cohésion de groupe et savoir tisser les liens entre les 3 responsables.
- **Responsable expérimentateur** : doit mettre en place une expérimentation (protocole à définir et campagne d'essai) : **partie III, IV et VI**.
- **Responsable modélisation** : doit mettre en place la modélisation du problème à l'aide des outils de la statique : **partie IV, V et VII**.
- **Responsable simulation** : doit mettre en place un modèle de simulation numérique à l'aide du logiciel SolidWorks Meca3D : **partie IV et VI**.

Les rôles sont définis pour chaque cycle (cf planning) mais vos activités ne doivent pas être cloisonnées et vous devrez vous organiser pour faciliter les échanges entre vous !

6. Documents à préparer

- Un diaporama de synthèse (sous PowerPoint) d'une durée de 15 minutes et présenté par le chef de projet.

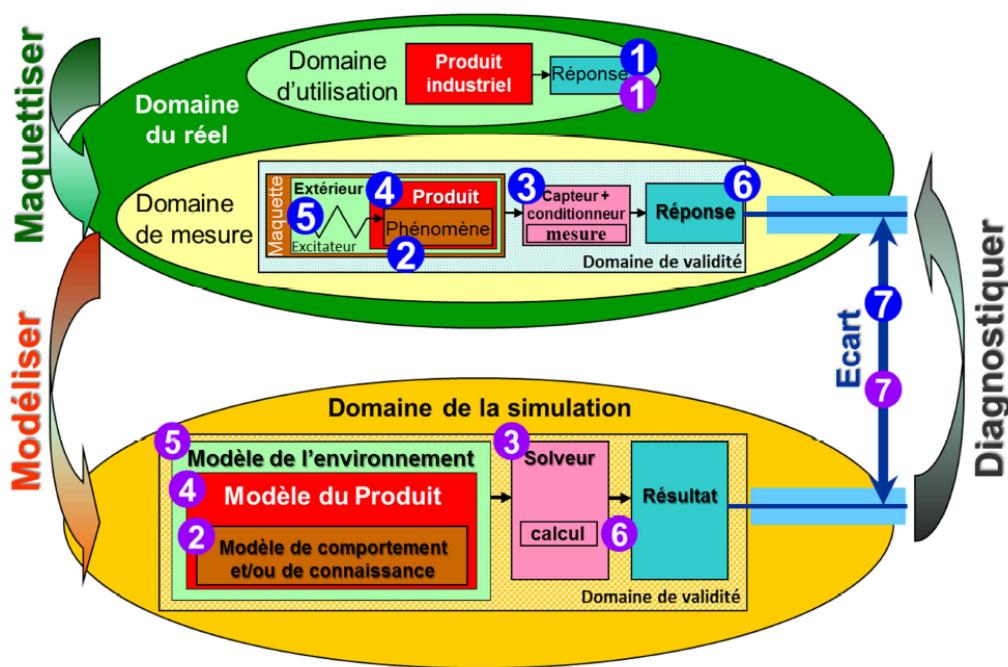
Le jour de la restitution orale vous disposerez uniquement d'une vidéo projecteur et d'un ordinateur. Vous devrez donc préparer une présentation type diaporama avec PowerPoint. Les diapos de ces présentations auront été préalablement préparées.

A l'issu de la présentation, les personnes qui vous ont écouté (certains de vos camarades ne sont pas passés sur le système que vous présenterez) devront être capable de comprendre :

- le fonctionnement du système,
- la modélisation réalisée,
- Les écarts présentés.

7. Méthodologie

Pour chaque simulation et chaque mesure, la méthode est la suivante :



Pour chaque simulation, compléter ce tableau (**qui apparaîtra dans la synthèse**) :

	Caractéristiques, définitions	Domaine de validité, hypothèses
Modèles de comportement et/ou de connaissance		
Solveur, calcul		
Modèle du produit : composants et relations		
Modèle de l'environnement : composants et relations		

Pour chaque mesure, définir l'objectif et compléter ce tableau (qui apparaîtra dans la synthèse) :

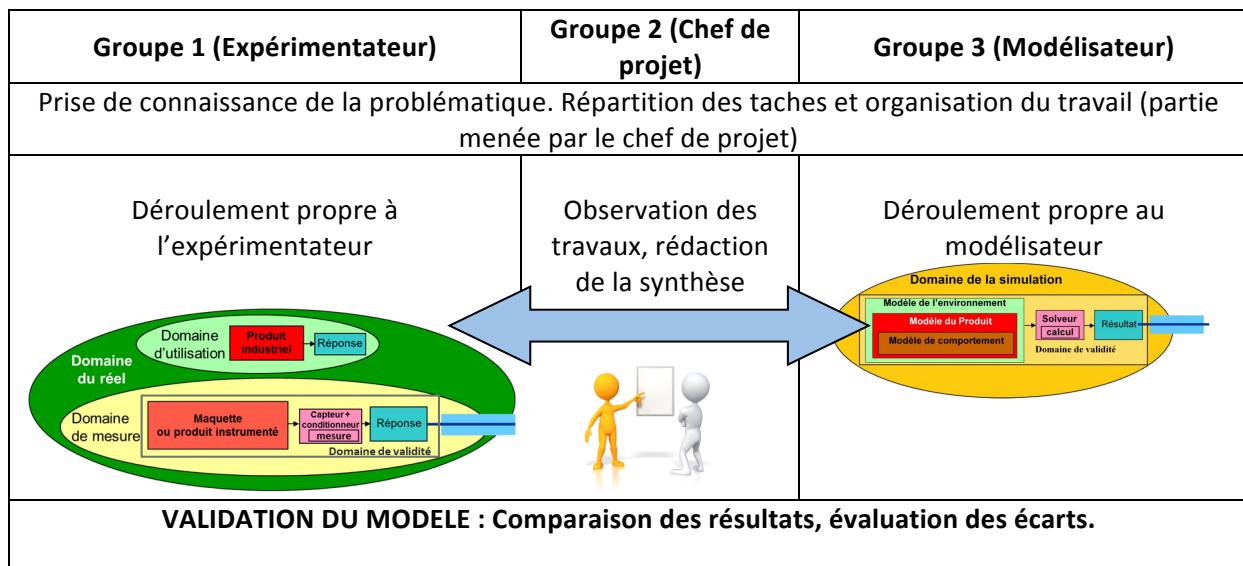
	Caractéristiques, définitions	Domaine de validité, hypothèses
Phénomènes physiques observés		
Capteur, conditionneur, mesure		
Maquette, produit du labo		
Environnement recreé, excitateur		

8. Déroulement de la séance

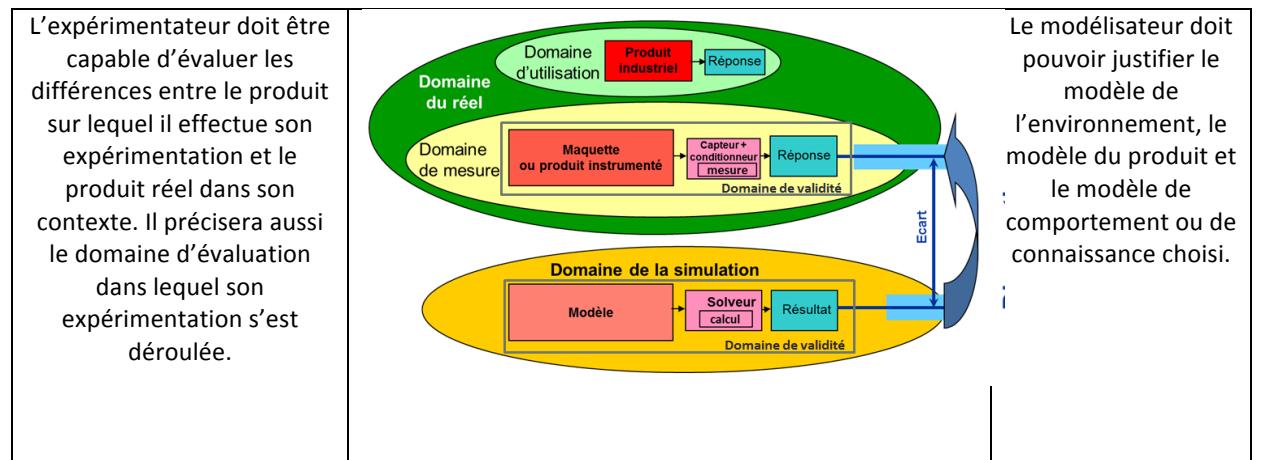
Les travaux s'articulent sur la mise en place d'un modèle du système étudié. Un questionnaire (fil conducteur du travail à réaliser) permet d'aborder les points essentiels du TP. Il est tout à fait possible de s'en éloigner en justifiant alors sa démarche.

Le questionnaire doit être mené en parallèle par les deux groupes (expérimentateur et modélisateur). Un recoupage des informations des deux groupes est prévu à plusieurs reprises lors du déroulement du TP.

Le chef de projet doit s'assurer de la bonne communication entre les deux groupes et synthétiser les résultats obtenus.



Robot cueilleur de fruit : maxpid

II. Analyse fonctionnelle du système

La maquette MAXPID est extraite d'un robot cueilleur de fruits. Elle reproduit la chaîne fonctionnelle de mise en mouvement d'un des bras du robot.

Le système est piloté par un ordinateur qui permet d'envoyer des consignes de déplacement au bras.

1. Analyse externe du système

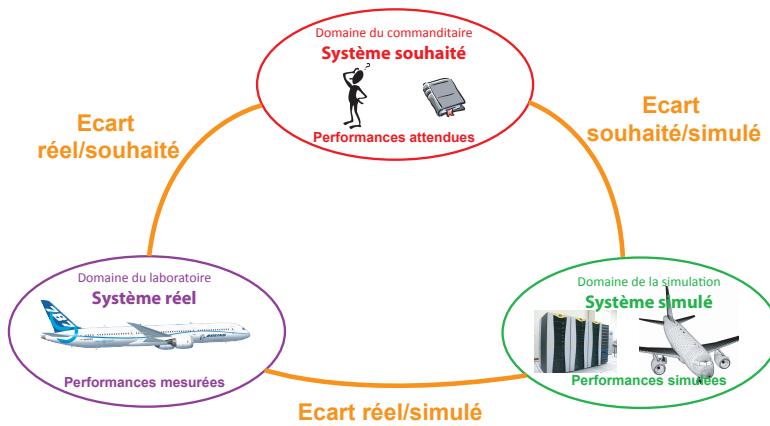
Question 1. Compléter la chaîne structurelle ci-dessous permettant d'identifier les différents composants

Question 2. Faire une analyse fonctionnelle du système en proposant un diagramme des exigences permettant de définir une problématique du TP en lien avec les modélisations demandées.

Question 3. Faire le lien entre les 3 autres parties et donc les 3 autres membres du groupe pour quantifier les écarts entre :

- Performances attendues
- Performances réelles

- Performances simulées



Robot cueilleur de fruit : maxpid

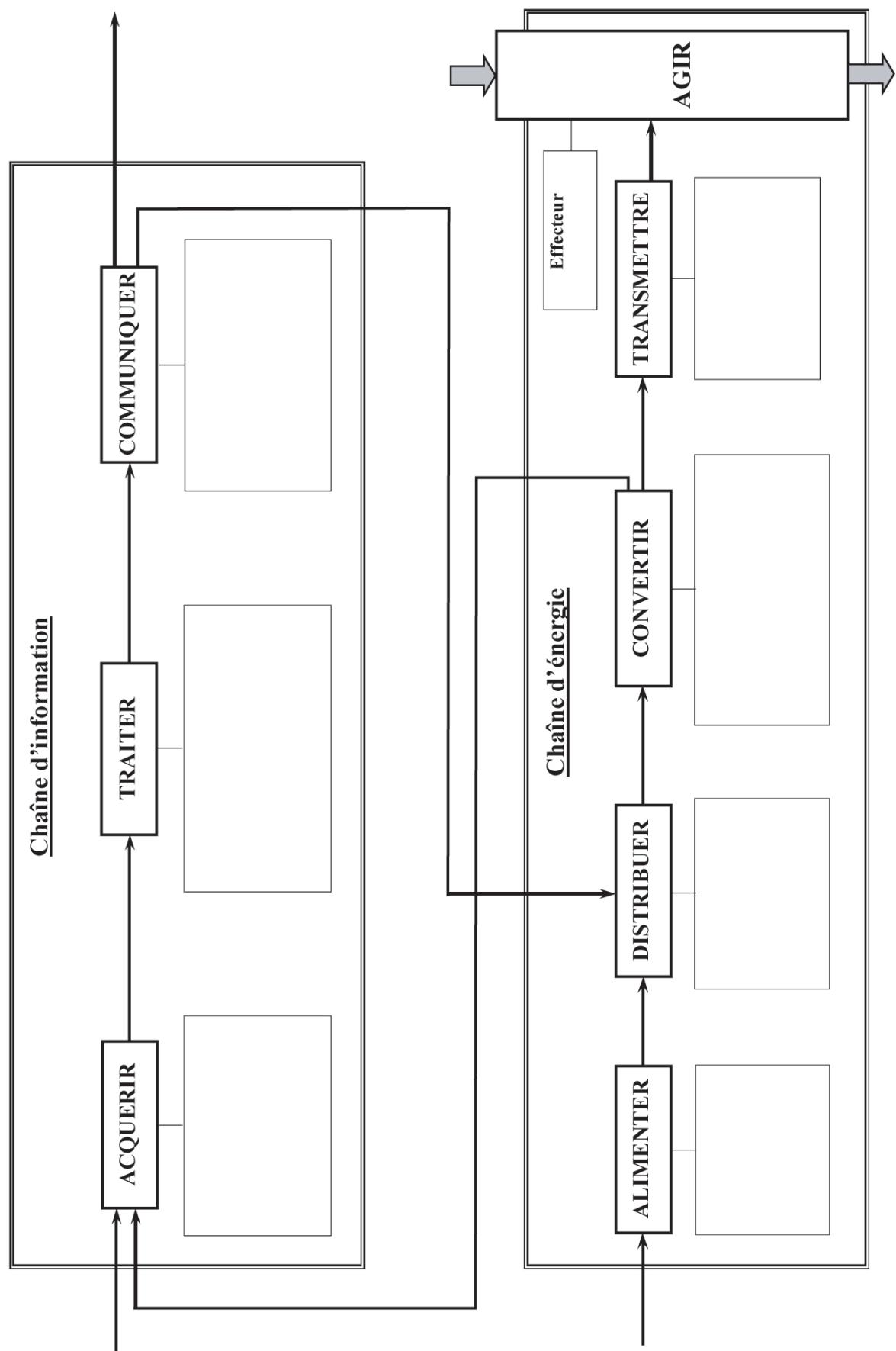


Figure 1 Chaîne fonctionnelle

2. Analyse interne du système

Question 4. Sur le système instrumenté identifier les capteurs qui permettent de mesurer des paramètres géométriques (angle, longueur), cinématiques et d'efforts

Question 5. Lister et présenter ces capteurs en vous aidant du document ressources sur les capteurs et de recherche sur internet.

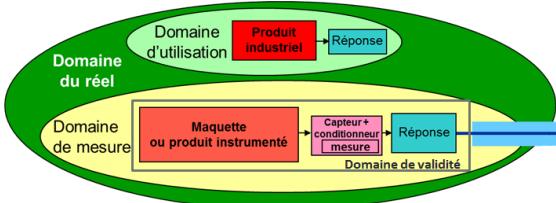
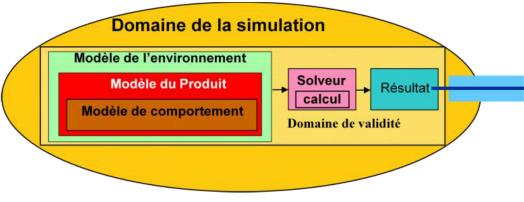
III. Observation du fonctionnement du système

3. Mise en route du système

en service du de l'ordi	1	Sur l'ordinateur, ouvrir une session avec vos identifiants comme mot de passe
Mise sous tension de la maquette	2	Sur la façade de la maquette, vérifier que l'interrupteur « mesure » de la boucle de retour est fermé et que le bouton « coup de poing » n'est pas enfoncé. Basculer le bouton de mise sous tension sur la face gauche.
Lancement du logiciel	3	<ul style="list-style-type: none"> Sur l'ordinateur, lancer le programme : « Maxpid ». Connecter le Maxpid. Faire l'étalonnage du capteur
Manipulation	4	<ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur « travailler avec maxpid » Réponse à une sollicitation Echelon de position

Observer les mouvements des solides

IV. Modélisation cinématique du système initial

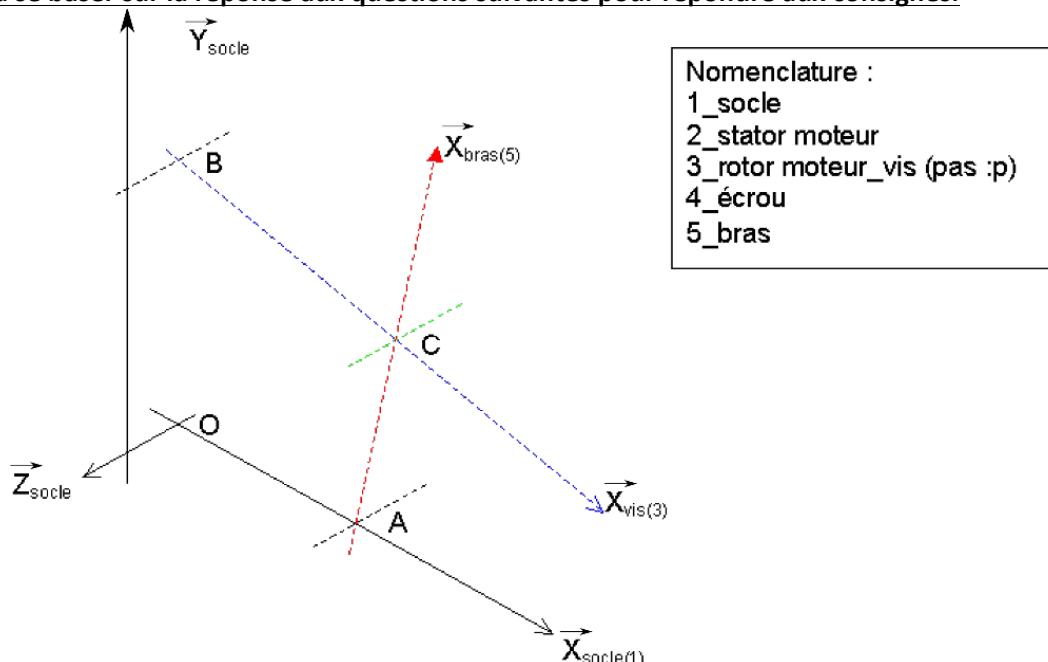
Expérimentateur	Modélisateur
 <p>Votre travail concerne le domaine du réel en étudiant la maquette et ses moyens de mesures.</p> <p>REMARQUE : La partie « analyse des capteurs » proposée en fin de sujet doit être traitée dès</p>	<p>Il est conseillé de se partager le travail pour l'établissement des modèles</p> 

Robot cueilleur de fruit : maxpid

<p>des capteurs permettant de mesurer la grandeur physique de l'entrée et de la sortie doit être impérativement faite avant la prise de mesure.</p>	
<p>Analyse des liaisons</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Observer les composants qui constituent les différentes liaisons du mécanisme.</i> ✓ <i>Caractériser ces solutions technologiques : contact direct/indirect, liaison permanente/démontable, élastique/rigide, assemblage par obstacle/adhérence. (voir document ressource)</i> 	<p>Modèle 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Proposer un modèle de produit sous la forme d'un graphe de structure.</i> ✓ <i>Tracer un schéma cinématique du modèle retenu.</i> <p><i>Indiquer pourquoi la modélisation ne peut être plane...</i></p>

Discuter des hypothèses vis-à-vis des solutions techniques sur le système

On pourra se baser sur la réponse aux questions suivantes pour répondre aux consignes.



Question 6. Après cette observation, recopier et compléter le schéma cinématique minimal du système maxpid.

Question 7. Combien de classes d'équivalence composent ce mécanisme ?

Question 8. Réaliser le graphe de structure du système étudié.

V. Modélisation du mécanisme en vue de déterminer le degré d'hyperstatisme

Paramétrage	Hyperstatisme
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Placer le système en configuration de référence. Si besoin réaliser le réglage initial du système donné dans le document ressource. ✓ Vérifier les différentes longueurs nécessaires à l'établissement du modèle « Solidworks ». <p>Compléter le paramétrage du modèle cinématique établi par les modélisateurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Déterminer par une approche statique et cinématique le degré d'hyperstatisme du modèle retenu <p>On étudie le modèle du mécanisme proposé sans effort extérieur. Le développement de l'étude statique (24 équations issues de l'application du PFS sur chacun des solides) est donné en annexe (à la fin du sujet).</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Résoudre le système d'équations proposé (les composantes des torseurs d'actions mécaniques doivent être toutes nulles puisque l'étude est faite sans effort extérieur et à l'équilibre statique).</i> ✓ <i>Déterminer les inconnues hyperstatiques pour la liaison entre le bras et le bâti afin de définir les défauts géométriques associés.</i> ✓ <i>Proposition des solutions technologiques pour limiter les contraintes internes du système.</i> <p style="text-align: center;">Modèle 2 : Simulation</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Ouvrir le fichier Solidworks : maxpidstat.SLDASM</i> ✓ <i>Sous Méca3D, dans Analyse, déterminer l'hyperstatisme du modèle « Solidworks »</i> ✓ <i>Sélectionner hyperstaticité maximale = 0 (permet de rendre le modèle isostatique)</i> ✓ <i>Sélectionner la liaison pivot bâti/bras Analyser (le logiciel fournit une solution permettant de réduire l'hyperstaticité du mécanisme en agissant sur la (les) liaison(s) sélectionnée(s) tout en conservant les mobilités du mécanisme).</i>

Question 9. Confronter les résultats des deux modèles.

Question 10. En vous aidant de SolidWorks, proposer deux modèles (non plan) isostatiques.
Valider vos modèles par la formule des mobilités.

VI. Analyse expérimentale des liaisons réelles**1. Objectifs**

En utilisant le système annexe non instrumenté après avoir démonté les différents axes de la maquette, on se propose d'étudier l'assemblage des pièces les unes avec les autres pour analyser la nature réelle des liaisons.

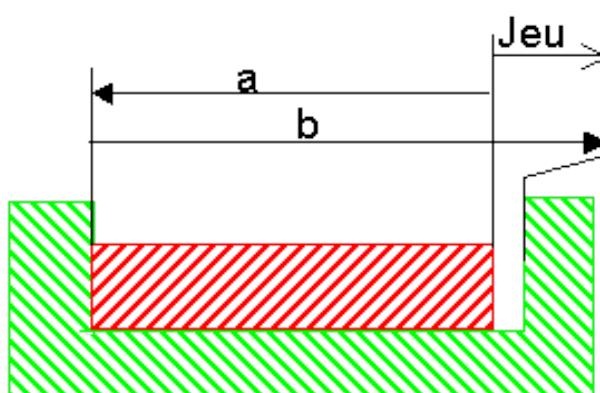
2. Analyse

Question 11. Réaliser à main levée une coupe longitudinale de chaque liaison en précisant les solides utilisés.

Question 12. Evaluer le jeu axial ou radial par action manuelle de la liaison entre le socle et le bras.

Question 13. Mesurer, à l'aide d'un pied à coulisse, les dimensions nécessaires au calcul de ce jeu et les indiquer sur vos tracés.

Question 14. Quelle hypothèse peut-on faire sur certaines liaisons ?

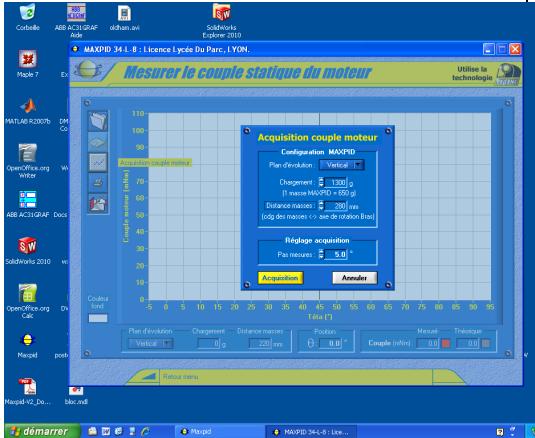
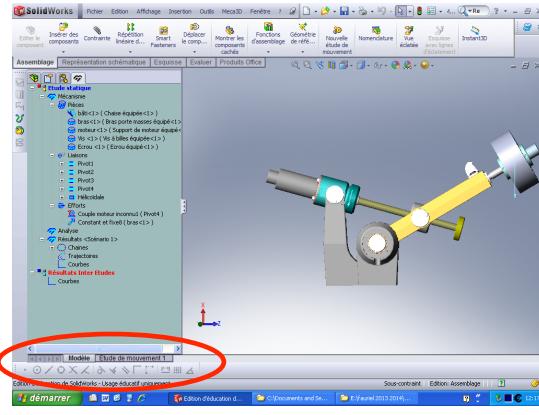
Indications : Définition d'un jeu dimensionnel

Interprétation graphique du jeu :

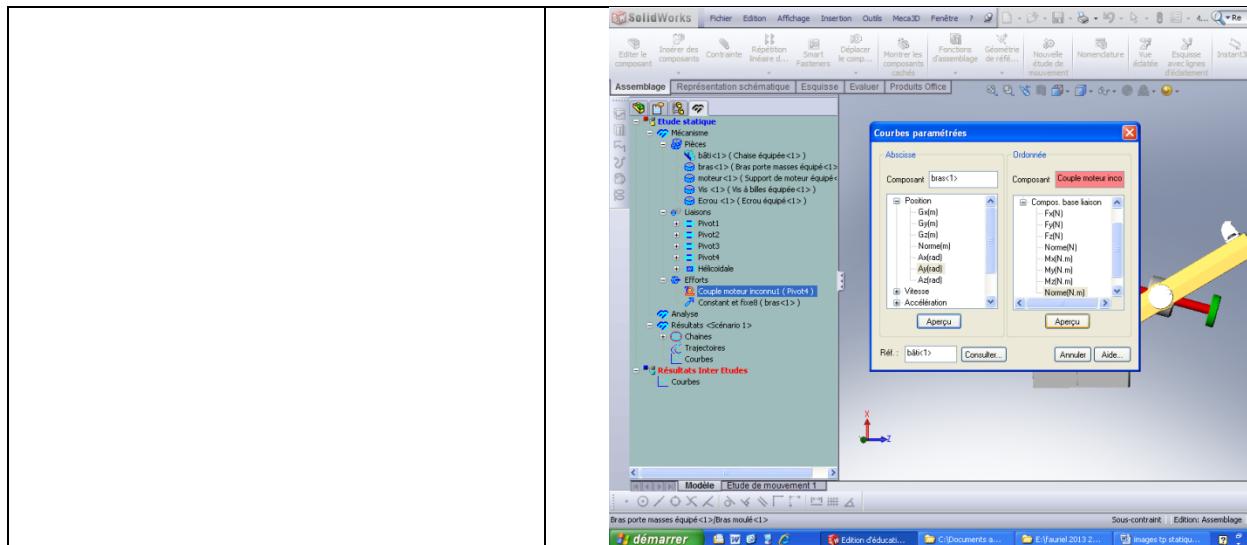
$$\text{Jeu mesuré} = b - a$$

Robot cueilleur de fruit : maxpid

VII. Modélisation avec Solid Works pour simuler le comportement vis-à-vis des actions mécaniques transmissibles

Mesure sur le système réel	Modélisation 3D et simulation
<ul style="list-style-type: none"> Lancer le logiciel Maxpid Dans le menu [travailler avec maxpid] puis [Couple statique du moteur], sélectionner [Acquisition couple moteur] et définir les différents paramètres.  <p>Comment est mesuré le couple moteur Cm sur le système (cliquer sur l'icône ) ? Donner la caractéristique du moteur permettant cette mesure.</p> <ul style="list-style-type: none"> Réaliser une mesure du couple moteur (Attention, la charge doit être identique à celle qui a été fixé pour le calcul avec le modèle) 	<ul style="list-style-type: none"> Sur le fichier maxpidstat.SLDASM, vérifier les efforts extérieurs suivants Couple moteur inconnu : Cm Action de pesanteur sur les 2 disques (de 650 g chacun) situés à l'extrême du bras 
	<p>✓ Lancer l'étude dynamique (Analyse/Calcul mécanique) dans la position d'origine du mécanisme ($\theta = 30^\circ$)</p>  <p>✓ Dans Résultats sélectionner courbes paramétrées pour afficher le couple moteur Cm et fonction de l'angle du bras.)</p>

Robot cueilleur de fruit : maxpid



- ✓ Relever la valeur de C_m pour un angle du bras de 45° .

Modèle1 : statique

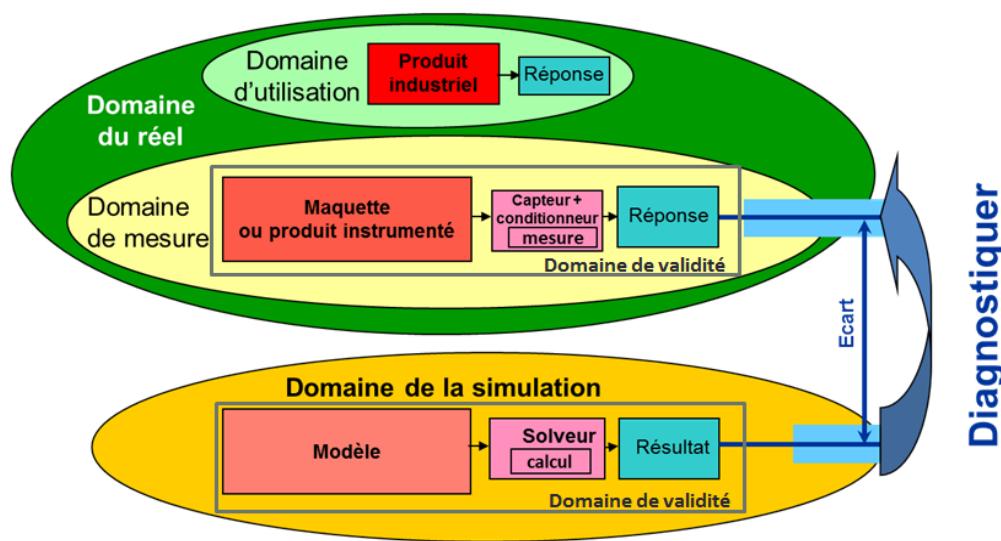
- ✓ A partir du système d'équations du modèle1 de l'annexe, donner la démarche à suivre (isolement de solide et application du PFS) permettant de donner la loi entrée/sortie en efforts du mécanisme. Cette loi relie la masse des disques installés à l'extrémité du bras et le couple généré par le moteur.
- ✓ Retrouver l'expression du couple moteur : $C_m = - \frac{p_{as}}{2\pi} \cdot \frac{\lambda P \cos \theta}{c \sin(\alpha - \theta)}$ (le poids des pièces autres que les masses est négligé)

Rappel : L'étude géométrique a permis de montrer que : $\tan \alpha = \frac{c \sin \theta - b}{a + c \cos \theta}$.

Question 15. Comparer les résultats.

Question 16. Préciser l'origine des écarts sur C_m entre les différentes études.

VIII. Analyse des écarts



Mise en évidence des écarts

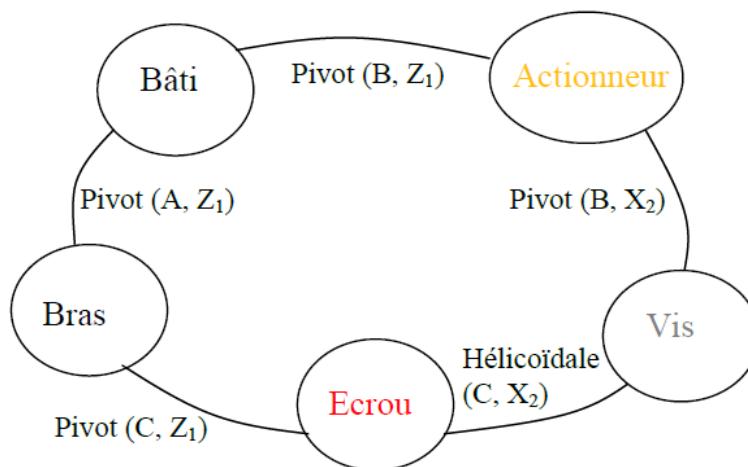
- Mettre en place un (ou plusieurs) protocole expérimental afin de vérifier la cohérence des mesures effectuées. Conclure quant au niveau des écarts provenant d'erreurs de mesures.
- Si c'est possible, proposer une courbe de mesure corrigée sur Excel

Mise en évidence des écarts

- Déterminer la valeur moyenne de l'écart obtenu
- Modifier le modèle (par exemple en agissant sur une dimension ou une position du mécanisme) et observer l'effet sur la loi E/S.

Annexe

Etude statique sans effort extérieur



Torseurs d'inter-efforts aux liaisons :

paramétrage $\alpha = (\vec{X}_1, \vec{X}_2)$, $\theta = (\vec{X}_1, \vec{X}_5)$, OA = a, OB = b, AC = c (longueurs connues).

$$x(t) = \overline{BC}$$

$$T_{1 \rightarrow 5} = \begin{Bmatrix} X_{15} & L_{15} \\ Y_{15} & M_{15} \\ Z_{15} & 0 \end{Bmatrix}_{A, B_1} \quad T_{1 \rightarrow 2} = \begin{Bmatrix} X_{12} & L_{12} \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & 0 \end{Bmatrix}_{B, B_2} \quad T_{4 \rightarrow 5} = \begin{Bmatrix} X_{45} & L_{45} \\ Y_{45} & M_{45} \\ Z_{45} & 0 \end{Bmatrix}_{C, B_2} \quad T_{3 \rightarrow 4} = \begin{Bmatrix} X_{34} & -\frac{p}{2\pi} X_{34} \\ Y_{34} & M_{34} \\ Z_{34} & N_{34} \end{Bmatrix}_{C, B_2}$$

$$T_{2 \rightarrow 3} = \begin{Bmatrix} X_{23} & 0 \\ Y_{23} & M_{23} \\ Z_{23} & N_{23} \end{Bmatrix}_{B, B_2}$$

PFS sur 5 : dans B₁

TRS :

$$X_{15} + X_{45} \cos\alpha - Y_{45} \sin\alpha = 0 \quad Y_{15} + X_{45} \sin\alpha + Y_{45} \cos\alpha = 0 \quad Z_{15} + Z_{45} = 0$$

TMS en A :

$$L_{15} + L_{45} \cos\alpha - M_{45} \sin\alpha + c Z_{45} \sin\theta = 0 \quad M_{15} + M_{45} \cos\alpha + L_{45} \sin\alpha - c Z_{45} \cos\theta = 0 \quad c(X_{45} \sin\alpha + Y_{45} \cos\alpha) \cos\theta - c(X_{45} \cos\alpha - Y_{45} \sin\alpha) \sin\theta = 0$$

PFS sur 2 : dans B₂

TRS :

$$X_{12} - X_{23} = Y_{12} - Y_{23} = Z_{12} - Z_{23} = 0$$

TMS en

$$B : \quad L_{12} = 0 \quad M_{12} - M_{23} = N_{23} = 0 = 0$$

PFS sur 3 : dans B₂

TRS :

$$-X_{34} + X_{23} = 0 \quad -Y_{34} + Y_{23} = 0 \quad -Z_{34} + Z_{23} = 0$$

TMS en C :

$$\frac{p}{2\pi} X_{34} = 0 \quad -M_{34} + M_{23} + Z_{23} \cdot x(t) = 0 \quad -N_{34} + N_{23} - Y_{23} \cdot x(t) = 0$$

PFS sur 4 : dans B_2

TRS :

$$-X_{45} + X_{34} = 0 \quad -Y_{45} + Y_{34} = 0 \quad -Z_{45} + Z_{34} = 0$$

TMS en C :

$$-L_{45} - \frac{p}{2\pi} X_{34} = 0 \quad -M_{45} + M_{34} = 0 \quad N_{34} = 0$$