



# DOSSIER PEDAGOGIQUE

---

<b>1 PRESENTATION DE LA NACELLE :</b>	<b>1</b>
<b>1.1 DRONE DE PRISE DE VUE AERIENNE</b>	<b>1</b>
<b>1.2 NACELLE DE DRONE</b>	<b>1</b>
<b>2 PROBLEMATIQUE :</b>	<b>1</b>
<b>3 ORGANISATION PRATIQUE :</b>	<b>2</b>
<b>4 VALIDATION DE LA MODELISATION DE L'AXE DE TANGAGE :</b>	<b>2</b>
<b>5 INFLUENCE DES CORRECTIONS PROPORTIONNELLE ET INTEGRALE :</b>	<b>4</b>
<b>6 REGLAGE DU CORRECTEUR PI ET VALIDATION :</b>	<b>7</b>
<b>7 INFLUENCE DES CORRECTIONS PROPORTIONNELLE , INTEGRALE ET, DERIVEES :</b>	<b>8</b>
<b>8 CONCLUSIONS</b>	<b>10</b>

---



## DOSSIER PÉDAGOGIQUE

Réglage d'un correcteur PID  
et validation des performances.

Corrigé

## **1 PRÉSENTATION DE LA NACELLE :**

### **1.1 Drone de prise de vue aérienne**

La prise de vue aérienne par drone est un secteur en plein essor. Beaucoup de télé-pilotes se lancent sur ce segment avec un cadrage basé sur nacelle 2 ou 3 axes. Cette technique permet de réaliser des images intéressantes, avec des manœuvres sur des vues en oblique ou en courbe, très recherchées, car le rendu est excellent.

### **1.2 Nacelle de drone**

De façon à obtenir des images de qualité, la nacelle doit permettre à l'appareil de prise de vue de rester dans la direction prévue par l'utilisateur, quel que soit le mouvement du drone qui le porte. Pour cela le concepteur a prévu d'asservir les deux axes de tangage et de roulis de la nacelle.

Le support d'étude dans cette activité est la nacelle de Drone asservie dans un environnement recréé.



## **2 PROBLÉMATIQUE :**

Le réglage d'un correcteur P I D nécessite au préalable de construire une modélisation numérique.

En effet, le nombre de combinaisons numériques possibles pour ces 3 types de correction étant très important, il semble inenvisageable de les essayer toutes sur le système pour déterminer le « bon » réglage ; c'est-à-dire celui qui satisfait les exigences du cahier des charges.

Ainsi, pour le système considéré, une simulation numérique permet de simuler l'influence de ces corrections sur les performances à satisfaire en vue de déterminer un réglage satisfaisant.

Il est beaucoup plus rapide de réaliser un réglage par simulation; par exemple, la valeur théorique d'une marge de phase sur un diagramme de Bode simulé est obtenue immédiatement, alors que sa valeur expérimentale nécessite de nombreuses mesures pour tracer le diagramme de Bode mesuré !

Bien entendu, il faudra également valider la représentativité de cette modélisation pour garantir la pertinence du réglage effectué.

### **Remarque :**

Attention, d'une machine à l'autre les valeurs mesurées peuvent être différentes, le corrigé du TP vous est donc fourni à titre indicatif.

### 3 ORGANISATION PRATIQUE :

Cette activité de travaux Pratiques est organisée en îlots, les activités de simulation et d'expérimentation sont donc dissociées et menées parallèlement.

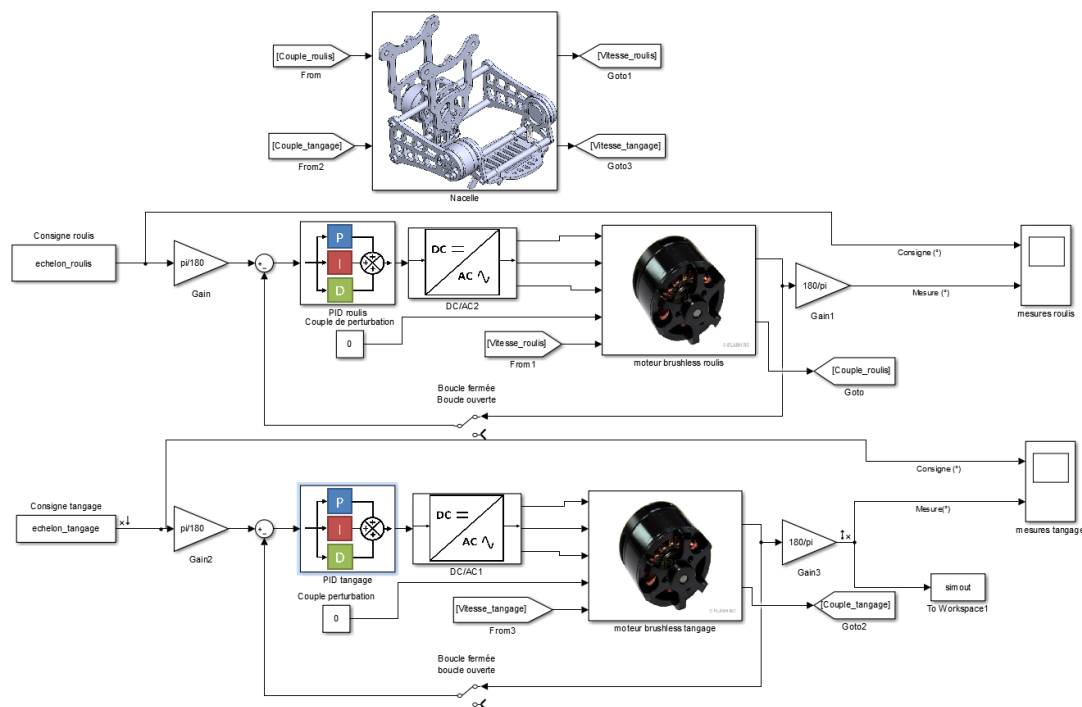
Des points de synthèse, animés par le chef de projet, sont prévus régulièrement pour coordonner les activités de chacun.

**Pour la suite du TP :**

- il vous sera demandé d'agir uniquement sur l'axe de tangage avec une commande en boucle fermée, il est donc nécessaire de choisir « boucle fermée » comme type de commande et « Aucun » comme type d' « Entrée » pour l'axe de roulis.
- la nacelle n'est pas chargée, la caméra n'est pas en place.

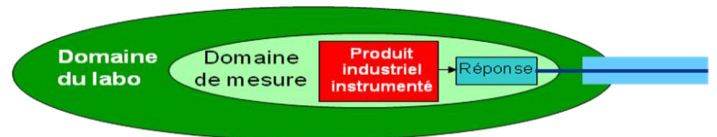
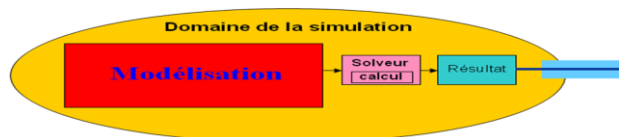
### 4 VALIDATION DE LA MODÉLISATION DE L'AXE DE TANGAGE :

L'objet de cette partie est de valider la modélisation Matlab fournie selon deux critères : temps de réponse à 5% et écart statique en position ; dans ce contexte, il faudra quantifier l'écart entre le comportement simulé et celui mesuré.



Simuler

Expérimenter



Ouvrir la modélisation Matlab puis régler le

Ouvrir le logiciel de pilotage de la nacelle puis régler le

correcteur PID :

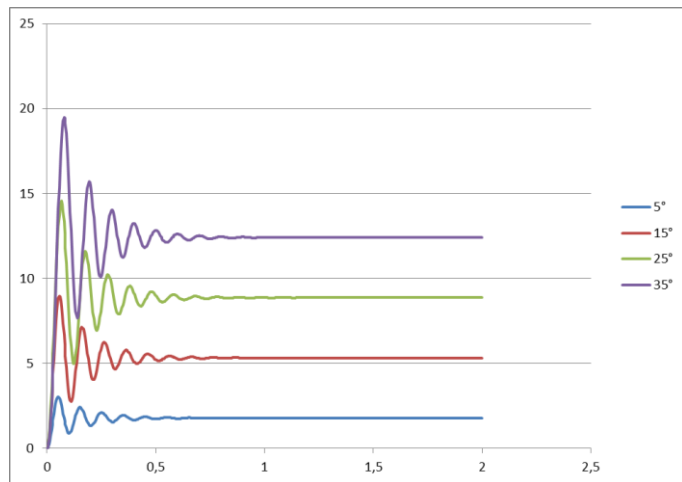
$$K_p = 1000 ; K_i = 0 ; K_d = 0.$$

Simuler les réponses indicielles de l'axe de tangage pour différentes amplitudes d'échelon :

$$5^\circ - 15^\circ - 25^\circ - 35^\circ$$

Pour chacune d'elles, quantifier la précision statique en position (en l'exprimant en %) et le temps de réponse à 5%.

### En boucle fermée



Consigne	Temps de réponse 5% (s)	Ecart statique relatif
5 °	0.3	3/5 = 0.6
15°	0.4	9.5/15 = 0.63
25°	0.5	16.5/25 = 0.65
35°	0.5	22.5/35 = 0.63

correcteur PID :

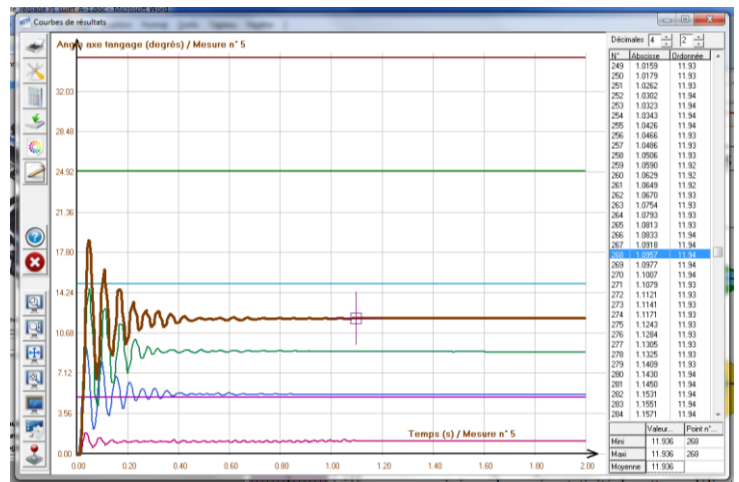
$$K_p = 1000 ; K_i = 0 ; K_d = 0.$$

Mesurer les réponses indicielles de l'axe de tangage pour différentes amplitudes d'échelon :

$$5^\circ - 15^\circ - 25^\circ - 35^\circ$$

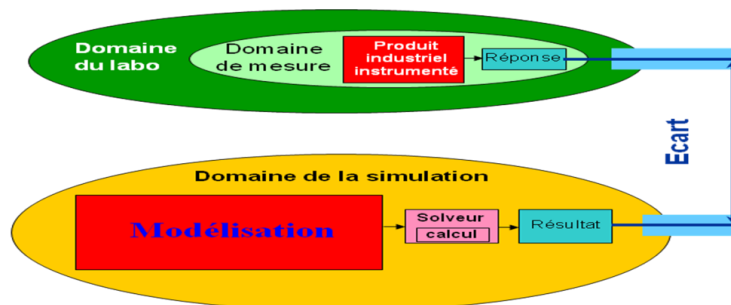
Pour chacune d'elles, quantifier la précision statique en position (en l'exprimant en %) et le temps de réponse à 5%.

### En boucle fermée



Consigne	Temps de réponse 5% (s)	Ecart statique relatif
5 °	0.15	4/5 = 0.8
15°	0.35	10/15 = 0.65
25°	0.3	16/25 = 0.64
35°	0.4	23/35 = 0.65

### Synthèse



Diagnostiquer les écarts ainsi observés puis juger la représentativité de cette modélisation.

Les valeurs finales et donc les écarts statiques relatifs sont très voisins entre les résultats simulés et les réponses mesurées.

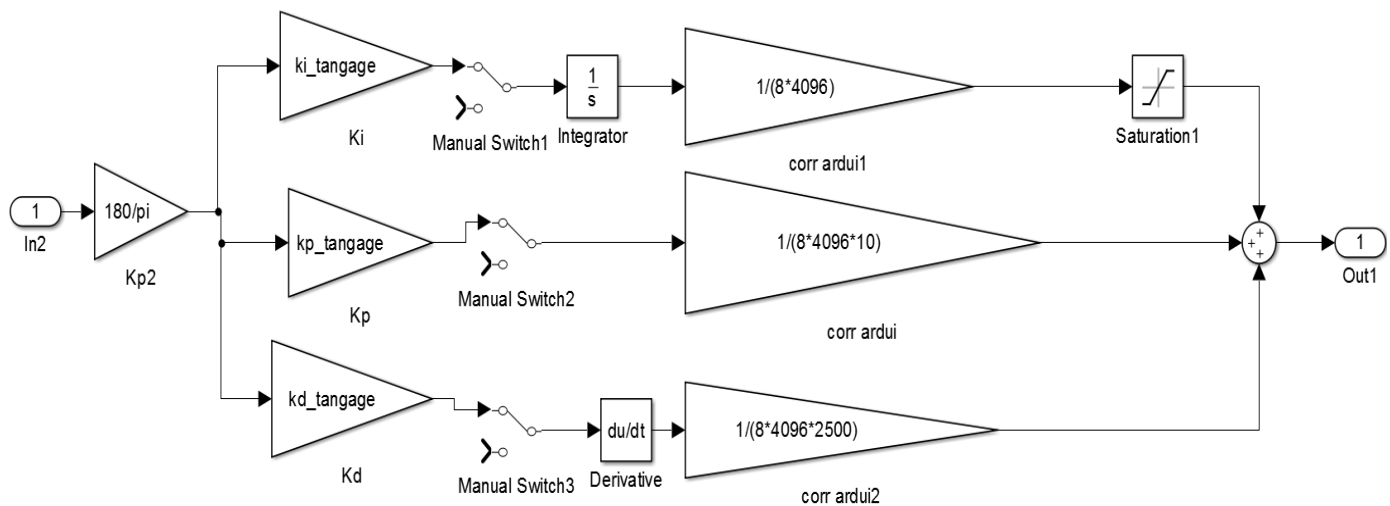
On constate par ailleurs des écarts qui peuvent être importants entre les temps de réponse simulés et mesurés.

Si on constate des erreurs de mesure faibles (quelques %) ainsi que des erreurs de lecture très faibles sur les valeurs finales, il n'en n'est pas le même sur l'incidence des erreurs de mesure et surtout des erreurs de lecture pour les temps de réponse.

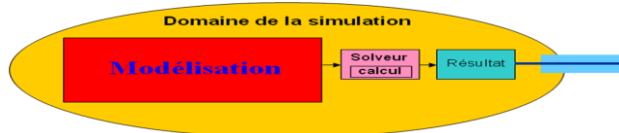
On peut conclure ici que sur un critère de précision au sens de l'écart statique, le modèle est validé (il serait dangereux de conclure sur le critère de rapidité) .

## 5 INFLUENCE DES CORRECTIONS PROPORTIONNELLE ET INTÉGRALE :

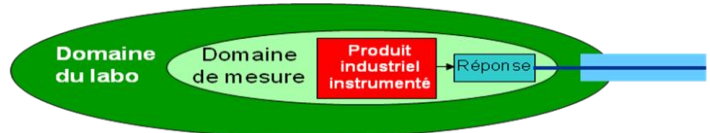
L'objet de cette partie est de valider la modélisation d'un correcteur PI ; les évolutions du comportement simulé, lorsque les gains  $K_p$  et  $K_i$  varient, sont-elles représentatives de la réalité aux critères de la précision, de la rapidité, des oscillations et de la stabilité ?



### Simuler



### Expérimenter



A l'aide de la modélisation Matlab, simuler l'influence de la correction Proportionnelle sur la rapidité et la précision ;

Pour différentes valeurs de  $K_p$  (comprises entre 0 et 2500) et avec  $K_i = K_d = 0$ , quantifier le temps de réponse à 5% et la précision statique en position.

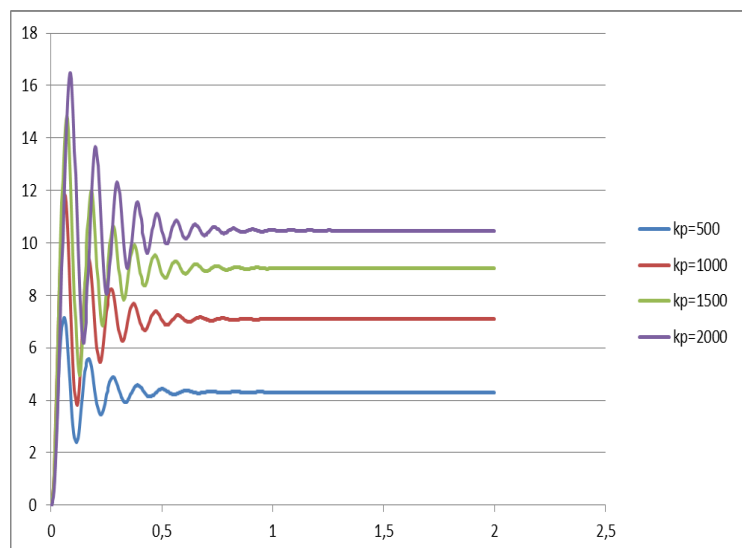
Sur la nacelle, mesurer l'influence de la correction Proportionnelle sur la rapidité et la précision ;

Pour différentes valeurs de  $K_p$  (comprises entre 0 et 2500) et avec  $K_i = K_d = 0$ , quantifier le temps de réponse à 5% et la précision statique en position.

Conclure sur leur évolution lorsque  $K_p$  augmente.

L'amplitude de l'échelon sera choisie à  $20^\circ$

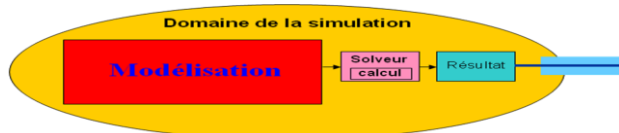
**En boucle fermée**



Lorsque  $K_p$  augmente :

- Précision augmente
- Rapidité diminue
- Dépassement augmente

Pas d'instabilité visible avec  $K_p = 2000$

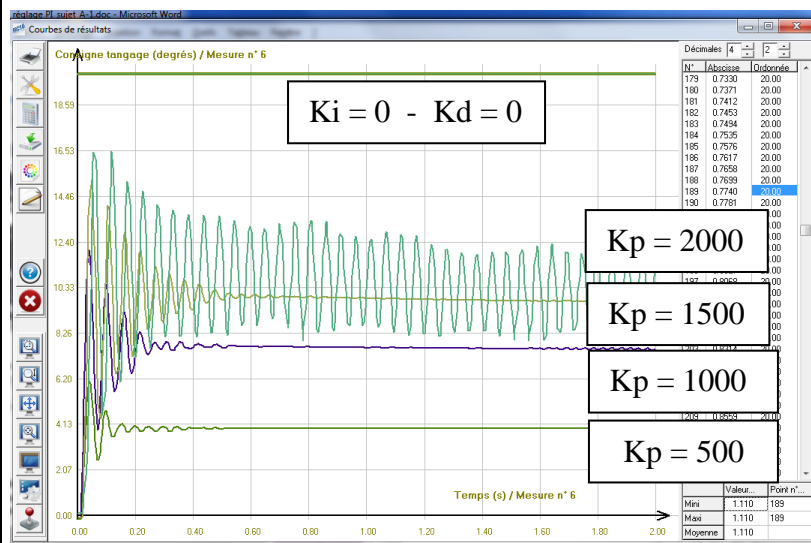


De la même manière, simuler l'influence de la correction Intégrale en prenant  $K_p = 1000$ ,  $K_d = 0$  et  $K_i$  compris entre 0 et 1000 avec un échelon de  $20^\circ$ .

Conclure sur leur évolution lorsque  $K_p$  augmente.

L'amplitude de l'échelon sera choisie à  $20^\circ$

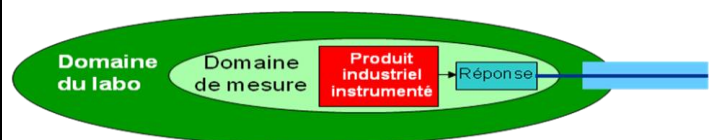
**En boucle fermée**



Lorsque  $K_p$  augmente :

- Précision augmente
- Rapidité diminue
- Dépassement augmente

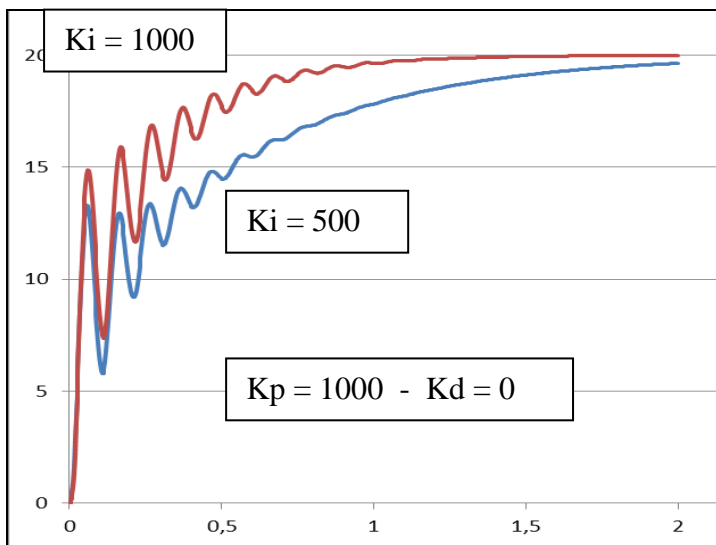
Instabilité à partir de  $K_p = 2000$



De la même manière, mesurer l'influence de la correction Intégrale en prenant  $K_p = 1000$ ,  $K_d = 0$  et  $K_i$  compris entre 0 et 1000 avec un échelon de  $20^\circ$ .

Faire un essai avec  $K_i$  plus élevé, conclure.

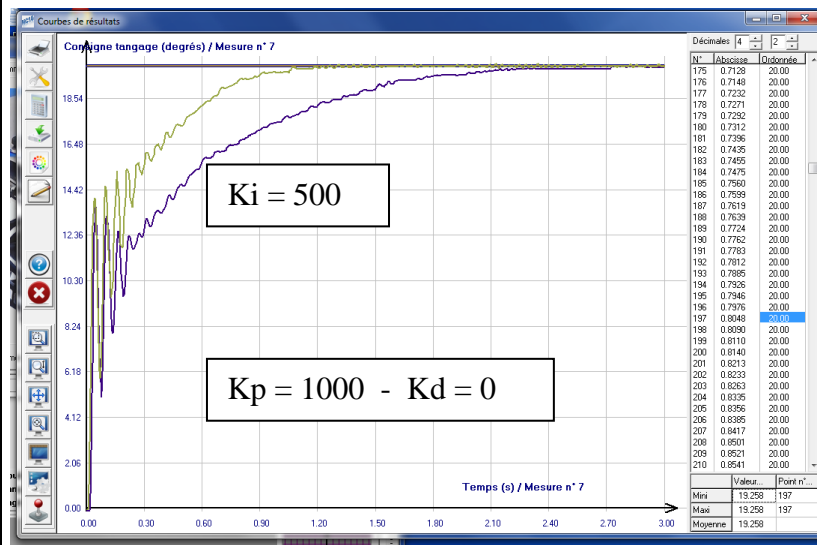
## En boucle fermée



Lorsque  $K_i$  augmente :

- Précision augmente
- Rapidité augmente
- Oscillations augmentent

## En boucle fermée

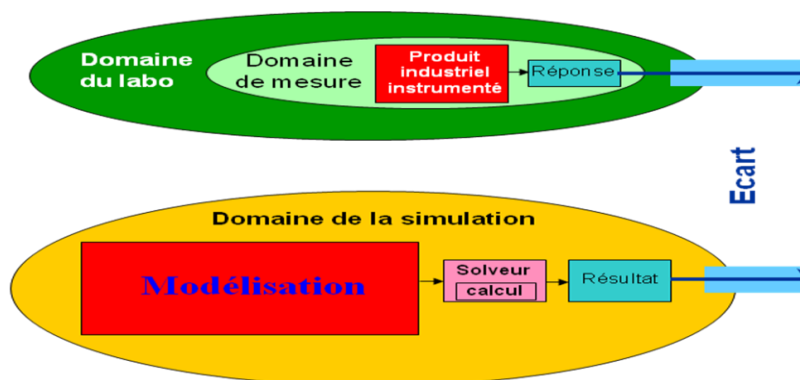


Lorsque  $K_i$  augmente :

- Précision augmente
- Rapidité augmente
- Oscillations augmentent

Instabilité en augmentant  $K_i$

## Synthèse



Diagnostiquer les écarts ainsi observés  
puis juger la représentativité de cette modélisation du correcteur.

La précision au travers d'un écart statique nul en simulation et lors des mesures, ainsi que les temps de réponse voisins (écart de 15 % environ) permettent de valider a priori le modèle de correcteur PI sur ces seuls critères. Nous allons discuter de la stabilité dans la suite.



## 6 RÉGLAGE DU CORRECTEUR PI ET VALIDATION :

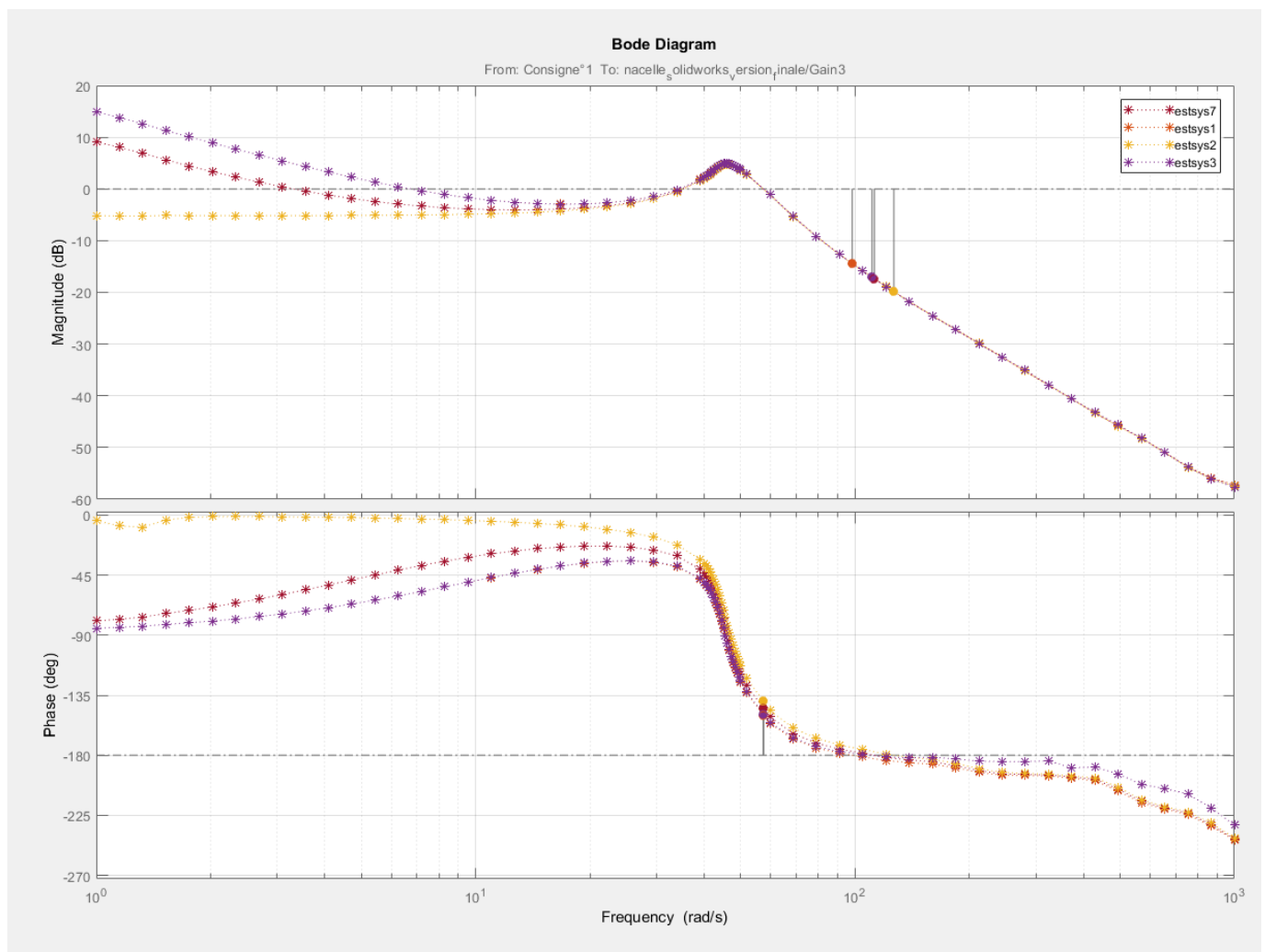
L'objet de cette partie est de déterminer un réglage du correcteur PID permettant de satisfaire les exigences du cahier des charges suivantes :

- Temps de réponse à 5%  $< 1.2$  s pour une amplitude maxi de  $20^\circ$
- Précision statique en position  $< 3\%$  pour une amplitude maxi de  $20^\circ$
- Marge de phase  $> 40^\circ$

Réaliser les simulations qui permettront de vérifier les contraintes du cahier des charges .

**En boucle ouverte :**

En Jaune  $K_p=1000$ ;  $K_i=0$ ;  $K_d=0$ ;  $MG=20$  ;  $MP= 41$  (estsys 2)  
 En pourpre  $K_p=1000$ ;  $K_i=500$ ;  $K_d=0$ ;  $MG=18$  ;  $MP= 36$  (estsys 7)  
 En orange  $K_p=1000$ ;  $K_i=1000$ ;  $K_d=0$ ;  $MG=15$ ;  $MP= 30$  (estsys 1)





La marge de phase diminue lorsque un correcteur intégral intervient .  
Elle est respectée en correction proportionnelle pure, mais alors la précision ne l'est pas .

La marge de phase n'est pas respectée. Le cahier des charges ne peut être validé sur ce critère.  
Même si les critères de précision (écart statique quasi nul) et de rapidité (temps de réponse égal à  $0.9s < 1.2s$ ) sont respectés avec  $K_p=1000$  et  $K_i=1000$ .

## 7 INFLUENCE DES CORRECTIONS PROPORTIONNELLE , INTÉGRALE ET, DERIVEES :

L'objet de cette partie est de déterminer un réglage du correcteur PID permettant de satisfaire les exigences du cahier des charges.

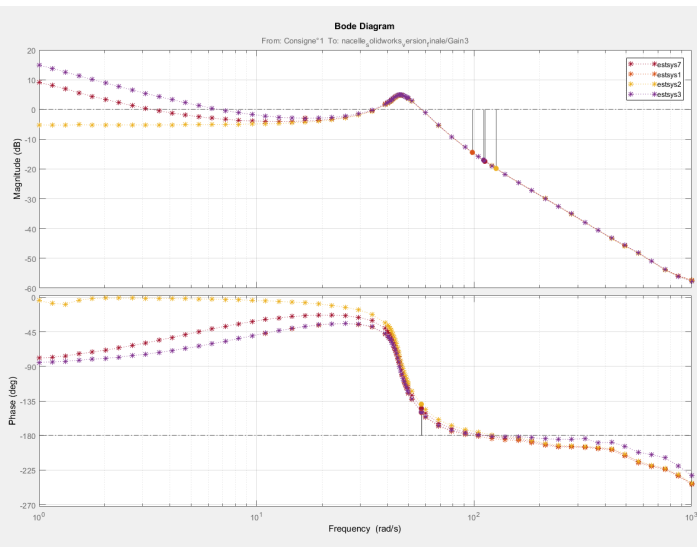
Réaliser les simulations qui permettront de vérifier les contraintes du cahier des charges, en ajoutant une correction dérivée.

### Simuler



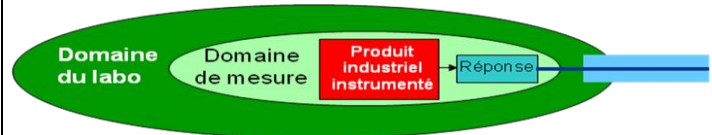
A l'aide de la modélisation Matlab, simuler l'influence de la correction dérivée, pour différentes valeurs de  $K_d$

**En boucle ouverte , courbe violette avec  $K_p=1000$ ,  $K_i=1000$  et  $K_d=1500$  (estsys 3)**



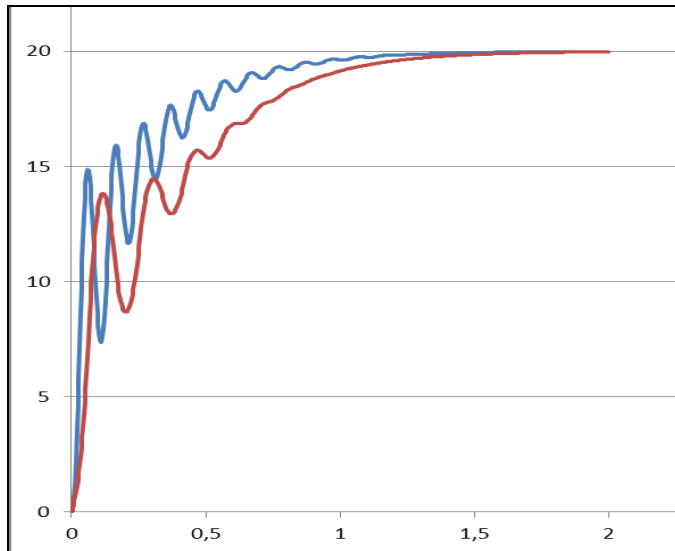
**MG=17dB  
MP=32°**

### Expérimenter

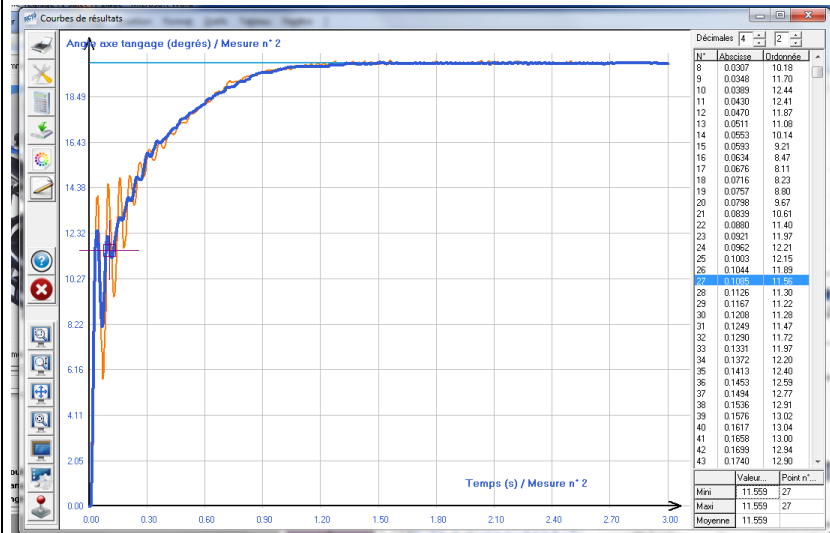


Sur la nacelle, mesurer l'influence de la correction dérivée en prenant appui sur les résultats de la simulation ci contre.

En boucle fermée, en réponse à un échelon de  $20^\circ$   
avec  $K_p=1000$ ,  $K_i=1000$   
et  $K_d = 1500$  en rouge et  $K_d = 0$  en bleu



En boucle fermée, en réponse à un échelon de  $20^\circ$   
avec  $K_p=1000$ ,  $K_i=1000$   
et  $K_d = 1500$  en bleu et  $K_d = 0$  en rouge



La marge de phase n'a que très peu augmenté avec la correction dérivée, et n'augmente pas plus même avec des valeurs élevées de  $K_d$  (non simulées ici).

A la vue du réseau de courbes simulées, on s'aperçoit que les correcteurs n'ont, pour les valeurs testées des coefficients, que peu d'influence sur les marges de stabilité, les courbes sont relativement superposées dans la zone critique : gain nul et phase  $180^\circ$

**Bilan : La marge de phase de  $40^\circ$  n'est pas respectée.**

Par contre, des essais sur la machine montrent un fonctionnement correct avec peu d'oscillations, sans tendance à l'instabilité.

**Les critères de précision (écart statique quasi nul) et de rapidité (temps de réponse égal à  $1s < 1.2s$ ) sont respectés avec  $K_p=1000$ ,  $K_i=1000$  et  $K_d = 1500$ .**

Le cahier des charges peut être validé sur ces critères.

**Remarque :**

Analysons la seule structure du PD, alors la fonction de transfert du PID s'écrit:

$$H(p) = Kp \cdot \left(1 + \frac{kd}{kp} * p\right) = k(1 + \tau * p)$$

Si on fait l'application numérique pour  $Kp=1000$ , et  $Kd=1500$  et en prenant en compte les coefficients correcteurs dans le programme Arduino, alors  $\tau = \frac{\frac{kd}{kp}}{\frac{2500}{10}} = 0.006$  soit  $\omega = \frac{1}{0.006} = 166 \text{ rd/s}$

L'influence du dérivateur interviendra après les pulsations critiques.

Les non-linéarités du modèle peuvent intervenir également?

## 8 CONCLUSIONS

Q13- Préciser en quelques lignes les démarches et éléments importants abordés dans ce TP.

Synthèse : Entourer sur le schéma du document réponse joint la ou les activités principales que vous avez réalisées dans cette séance de TP.

