

BE noté

Automatique

Ce BE s'intéresse à l'implémentation et au réglage d'un régulateur PID (Proportionnel Intégral Dérivée). Pour ce faire, nous allons dans un premier temps observer l'influence des coefficients du PID sur la réponse du système.

INFLUENCE DES COEFFICIENTS

On va analyser le comportement du régulateur PID en faisant varier les coefficients de proportionnalité (k_p), d'intégration (k_i) et de dérivation (k_d). Pour ce faire, on va considérer les fonctions de transfert suivantes :

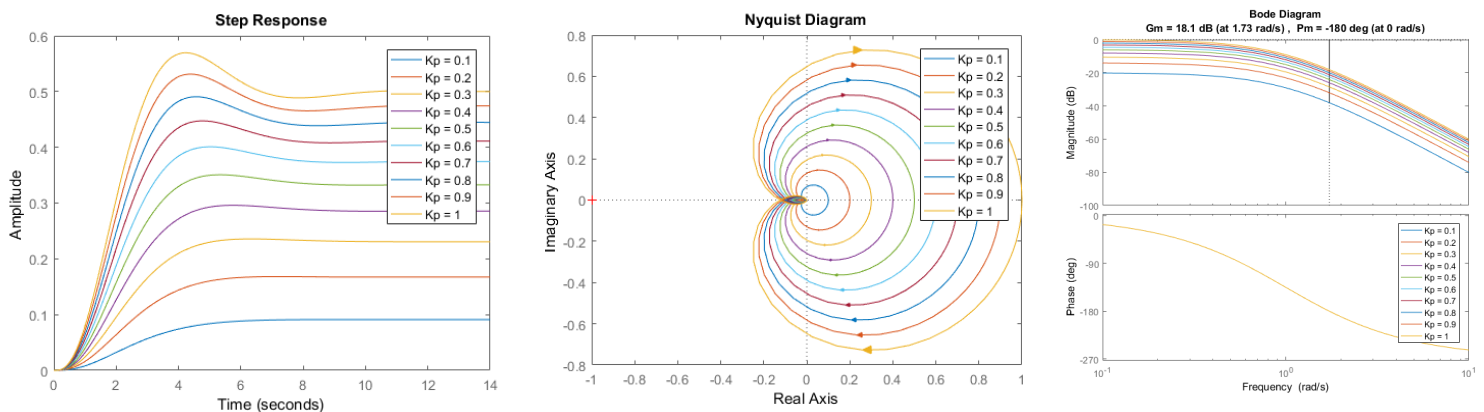
$$P(s) = \frac{1}{(1+s)^3} \text{ et } C(s) = \frac{k_p * s + k_i + k_d * s^2}{s}$$

On pose également $L(s) = C(s) * P(s)$

L'influence des coefficients s'observera sur l'évolution temporelle de la boucle fermée ($\frac{L}{1+L}$) ainsi que la réponse fréquentielle de la boucle ouverte (L). Ces réactions seront déterminées par l'envoi d'un échelon dans les fonctions de transferts.

Coefficient de proportionnalité

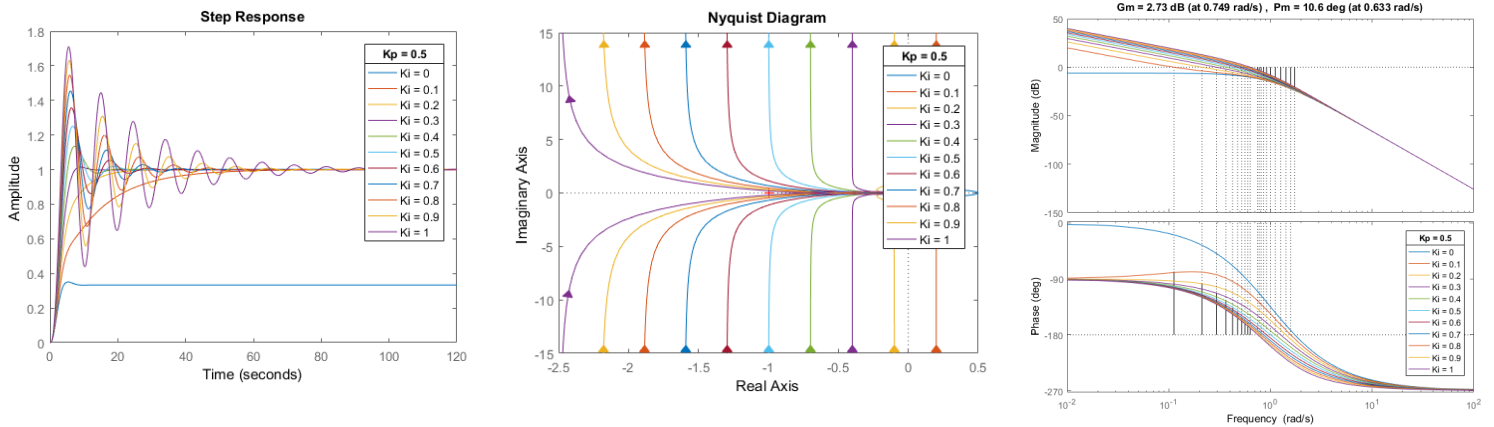
Le coefficient de proportionnalité k_p a une action sur la vitesse de montée de la sortie vers la valeur souhaitée. Cependant, il laisse une erreur statique non nulle.



En conséquence, augmenter la valeur du coefficient de proportionnalité revient à augmenter la réactivité du système au détriment de sa stabilité. En effet, des oscillations vont être créées par un coefficient fort. Vis-à-vis de la représentation fréquentielle, l'augmentation du coefficient k_p conduit à une diminution de la marge de phase.

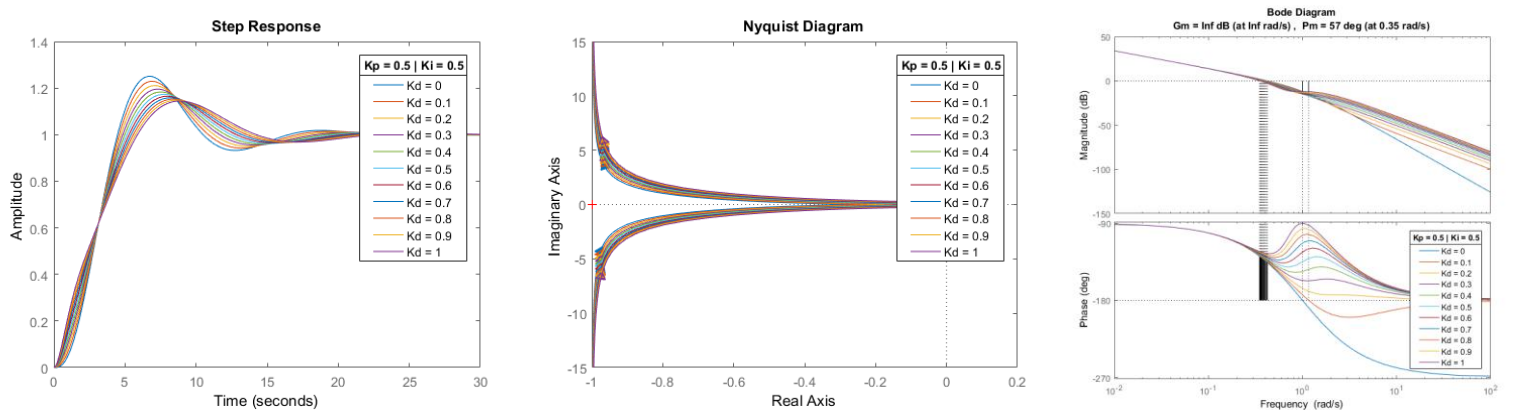
Coefficient d'intégration

Le coefficient d'intégration k_i pour sa part permet de supprimer toute erreur statique. Par ce biais, on peut converger vers la valeur souhaitée. Cette influence s'observe particulièrement sur le diagramme de Bode par l'apparition d'un gain fort à basse fréquence. En revanche, l'intégration est à l'origine de beaucoup d'oscillations ce qui diminue la stabilité du système. Qui plus est, en prenant un k_i trop important le temps d'établissement croît très rapidement.

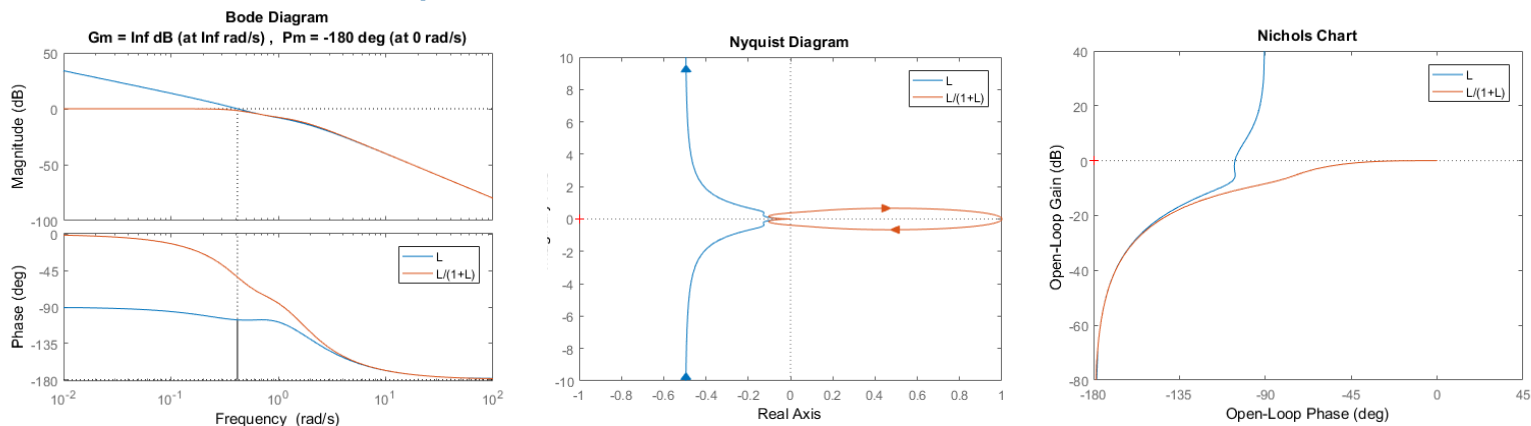


Coefficient de dérivation

Pour finir, le coefficient de dérivation k_d permet d'améliorer la stabilité du système en diminuant les oscillations. Cette amélioration de la stabilité se voit sur le diagramme de Nyquist par l'augmentation de la marge de phase et de la marge de gain. On arrive même avec une dérivation parfaite à une marge de gain infinie. Cependant, on ne peut pas le réaliser dans la vraie vie ce qui nous fait perdre en phase et donc refait passer la réponse en phase sous la barre des 180° .



Comportement du PID



En général, on peut déduire de l'analyse de la réponse fréquentielle des informations sur la réponse temporelle. Lorsque le point -1 n'est pas entouré dans le diagramme de Bode de la réponse on a en effet un système stable. La marge de phase nous permet également d'avoir une idée du dépassement de notre réponse temporelle.

En comparant les réponses fréquentielles de la boucle ouverte et de la boucle fermée, on observe bien que le système bouclé correspond au minimum entre notre observation (ici 1) et notre entrée. De ce fait, à basse fréquence on a un gain de 0dB (correspondant à 1) puis à haute fréquence le gain de la fonction de transfert L . Entre les deux on a un compromis dans les valeurs.

MISE EN PLACE D'UN REGULATEUR DE VITESSE

Dans cette partie, on va implémenter un régulateur PI avec une correction anti-windup pour réguler la vitesse d'une voiture. Cette voiture sera représentée par deux modèles, l'un non-linéaire et l'autre linéarisé. Le windup correspond à une erreur de l'intégration due à la saturation de la commande. Le système va donc penser avoir envoyé une commande qu'il n'a pas réellement envoyée. La méthode d'anti-windup utilisée ici est très simple. Elle consiste simplement à mentir au terme intégrateur en lui renvoyant, pondéré par un coefficient de windup, la différence entre la commande désirée et la commande réellement utilisée.

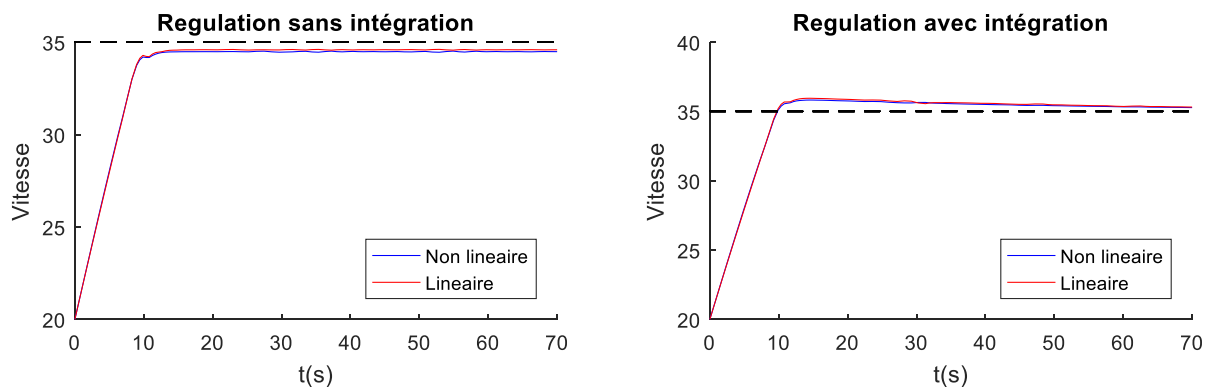
Réglage du régulateur

Dans un système réel, on veut forcément de certaines caractéristiques pour la régulation. Généralement sur le temps d'établissement, le dépassement et la robustesse à des changements de paramètres (comme ici la masse de la voiture). L'intégralité des coefficients influence les caractéristiques de la réponse. Il est donc difficile de trouver une solution de manière arithmétique. Un réglage de manière empirique est donc obligatoire en essayant de concilier l'ensemble des demandes.

Par exemple pour régler le dépassement, il est important de s'intéresser à la marge de phase. En effet, ces deux données sont liées et on peut trouver des réglages de l'un par rapport à l'autre dans des abaques. Dans notre cas, on est parvenu à obtenir une marge de phase d'environ 90° ce qui assure dans notre cas un dépassement inférieur à 5% dans des conditions possibles pour le système (i.e. pas des vitesses aberrantes pour une voiture).

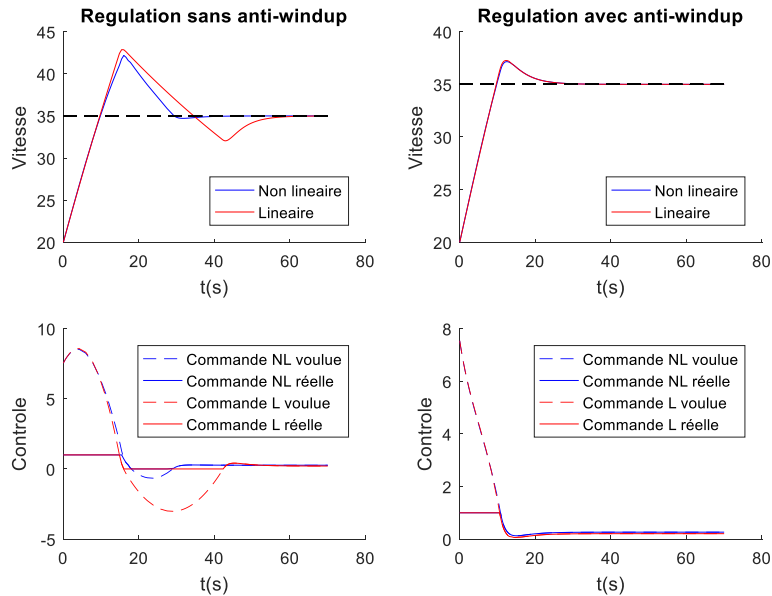
Intérêt de l'intégrateur

L'intégrateur dans ce régulateur permet de s'assurer de la précision en supprimant l'erreur statique. De ce fait, il est impératif de l'intégrer à la régulation pour assurer le fonctionnement du système. On peut voir sur la figure suivante, qu'en l'absence de ce terme intégral une erreur statique est bien présente sur la vitesse du véhicule.



Influence de l'anti-windup

L'anti windup permet de ne pas être trop dérangé par la saturation du système en prenant en compte cette saturation dans l'intégration des erreurs. En conséquence, l'anti windup permet de lisser la régulation et d'éviter des oscillations supplémentaires autour de la valeur voulue. Sur les figures suivantes, on peut voir sans anti-windup qu'il y a une oscillation supplémentaire autour de la valeur souhaitée qui correspond à la saturation visible sur le contrôle. Avec anti-windup, cette erreur est lissée et on converge beaucoup plus vite et proprement vers la valeur souhaitée.



Lien réponse temporelle et fréquentielle

Sur la réponse fréquentielle suivante, on peut voir qu'on dispose d'une marge de gain infinie et d'une marge de phase très grande de l'ordre de 90° . Ceci explique qu'on a un dépassement faible de la consigne et que le système est stable et robuste à des perturbations extérieures comme un changement de masse du véhicule.

