Control'X

Ctrl + clic pour suivre un lien

Notice de Control'Drive

Document à jour pour la version 1.1.0 de Control'Drive

Versions de Control'Drive

Version	Date	Evolutions
1.0.3	Décembre 2015	Première version commerciale
1.0.4	Janvier 2016	• Modification de la fenêtre de paramétrage : réorganisation de certains éléments entre l'onglet "Control'Drive" et l'onglet "Professeur" • Simplification dans la fenêtre "Bonus", "Caractéristiques moteur" et rajout d'efforts résistants de type frottements secs et frottements visqueux. • Mise en place dans l'onglet "Professeur" de la fenêtre de paramétrage de la possibilité de masquer certains onglets de Control'Drive. Cela permet aux élèves de première année par exemple de construire eux-mêmes la chaine fonctionnelle ou le schéma-bloc.
1.0.5	Février 2016	• Correction d'un bug dans l'onglet "Synthèse correcteur" où l'amplitude de l'entrée n'était pas toujours prise en compte à bon escient dans l'affichage de certaines fonctions de transfert ou de certains écarts.
1.0.6	Mars 2016	• Amélioration de la lisibilité de la fenêtre "Caractéristiques moteur" du menu "Bonus"
1.0.7	Juin 2016	• Modifications mineures de forme. • Ajout d'une icône pour accéder aux caractéristiques du moteur SANYO dans la fenêtre "Bonus", "Caractéristiques moteur" • Correction d'un bug dans la gestion du mot de passe pour accéder à la fenêtre de paramétrage en mode "professeur".

Version	Date	Evolutions
1.1.0	Aout 2016	• Réorganisation des sous-onglets "Discrétisation correcteur" et "Simulation non linéaire" de l'onglet "Synthèse correcteur" : la discrétisation peut maintenant se faire sur le modèle non linéaire. • Amélioration et correction d'un bug dans la fenêtre "Calculs sur réponse temporelle" du menu "Analyse temporelle". Rajout du calcul de l'écart type associé au calcul de la moyenne. • Création d'une fenêtre "Définir horizon temporel" dans le menu "Analyse temporelle" pour restreindre les résultats de l'essai en mémoire. • Amélioration de la fenêtre "Bonus", "Régression linéaire" • Création des fonctions "Afficher plan Couple-Vitesse" et "Afficher plan Tension-intensité" dans le menu "Analyse temporelle" avec affichage sur 1 ou 4 quadrants.
1.1.1	Février 2017	• Correction d'un bug dans l'onglet "identification temporelle linéaire". La période d'échantillonnage de l'essai en cours n'était pas toujours bien gérée.

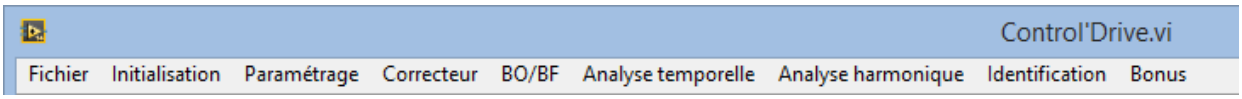
Présentation générale

Ctrl + clic pour aller à la présentation générale

Onglets

Onglets	page 4
Schéma structurel	page 10
Schéma fonctionnel	page 12
Schéma bloc	page 13
Analyse temporelle	page 16
Analyse harmonique	page 24
Identification / Simulation	page 27
Synthèse correcteur	page 37

Menus

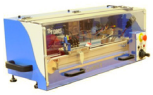


Menus	page 55
Fichier	page 56
Initialisation	page 57
Paramétrage	page 59
Correcteur	page 71
BO/BF	page 79
Analyse temporelle	page 80
Analyse harmonique	page 94
Identification/Simulation	page 98
Bonus	page 101

Présentation générale

Ctrl + clic pour revenir au sommaire

Control'Drive est le logiciel de pilotage et de simulation de Control'X.

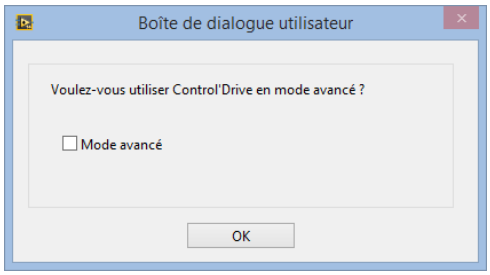
Lancer Control'Drive en cliquant sur l'icône ci-contre : 

Control'Drive

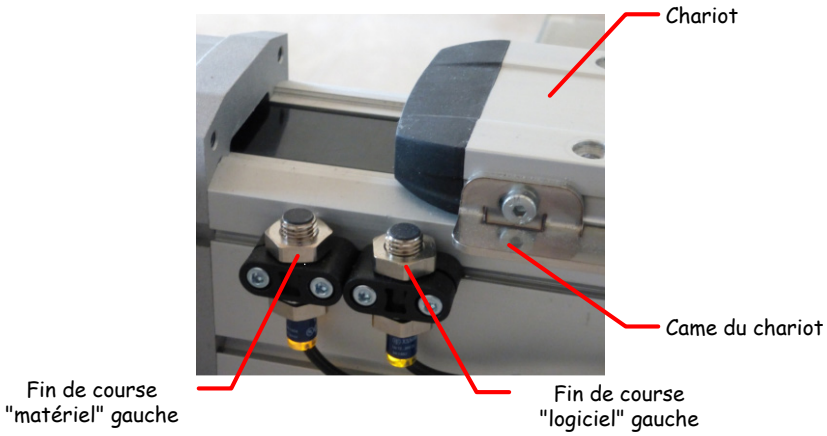
Au démarrage, Control'Drive propose une utilisation selon deux modes :

Mode par défaut : seules les fonctions de base du logiciel sont accessibles

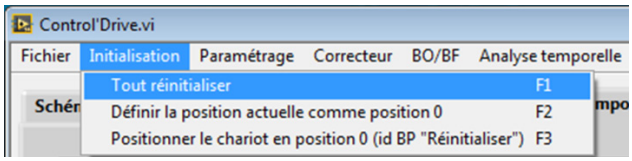
Mode avancé : toutes les fonctions sont accessibles



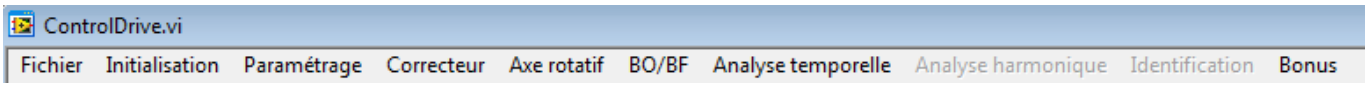
Sauf s'il ne l'est déjà, le chariot de Control'X doit s'initialiser à gauche sur le fin de course "logiciel".



Si Control'Drive a été lancé avant d'armer Control'X, effectuer une réinitialisation en utilisant la fonction "Tout réinitialiser" du menu "Initialisation " :

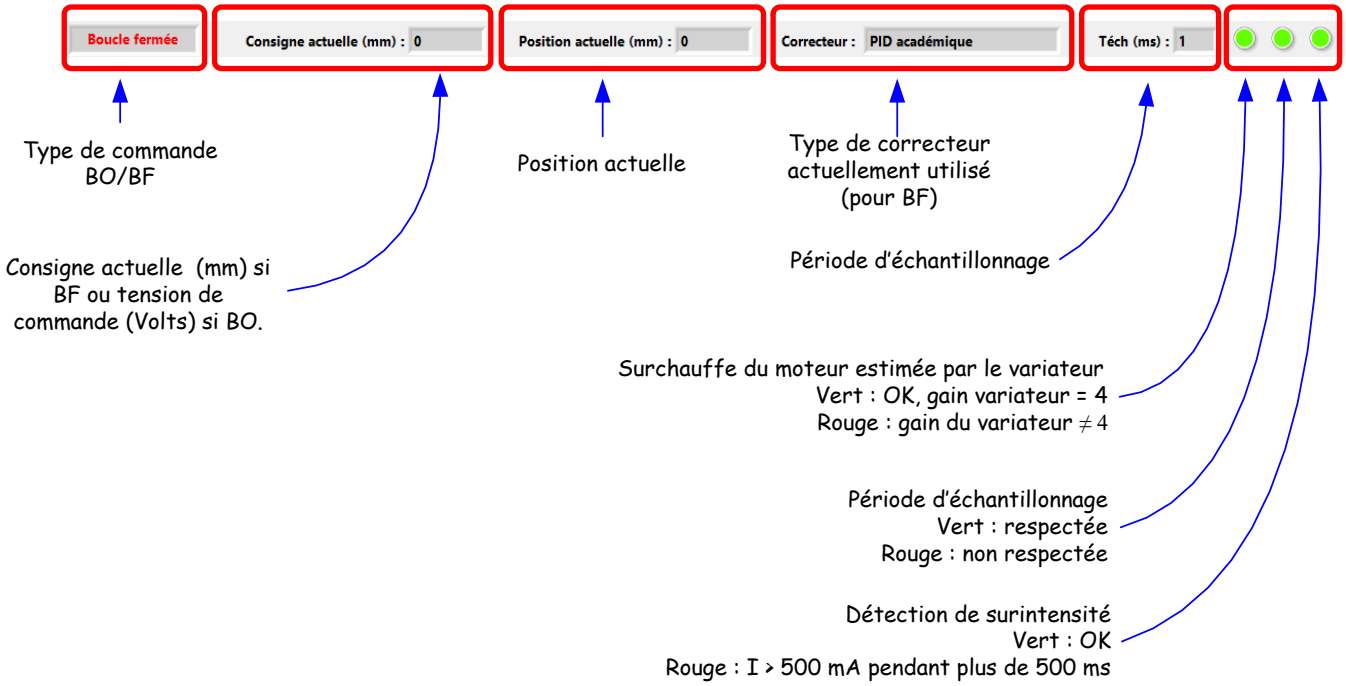


Dans ce qui suit un menu désigne un bandeau situé en haut d'une fenêtre du type :



Un onglet désigne un bandeau du type :

La barre d'état située au bas de la fenêtre principale donne accès en un coup d'œil à l'état du système :

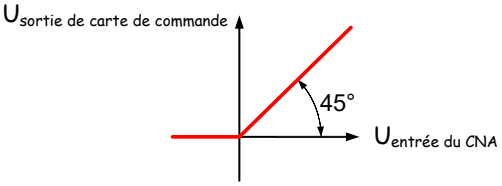


Sécurités logicielles sous Control'Drive

Ctrl + clic pour revenir au sommaire

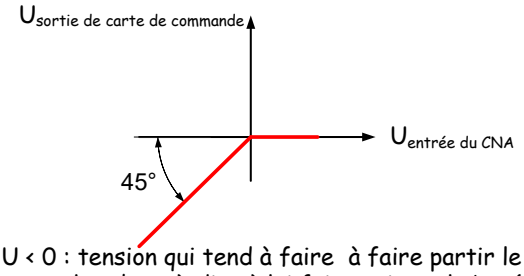
Control'Drive intègre une sécurité logicielle qui empêche le chariot de se retrouver en butée "matérielle". A chaque période d'échantillonnage Control'Drive teste la présence éventuelle sur une butée logicielle. Si tel est le cas la tension d'alimentation du moteur qui tendrait à faire avancer le chariot au-delà de la butée logicielle atteinte est saturé à une valeur nulle. Le chariot ne peut alors que quitter la butée et repartir en sens inverse.

Butée gauche atteinte ?



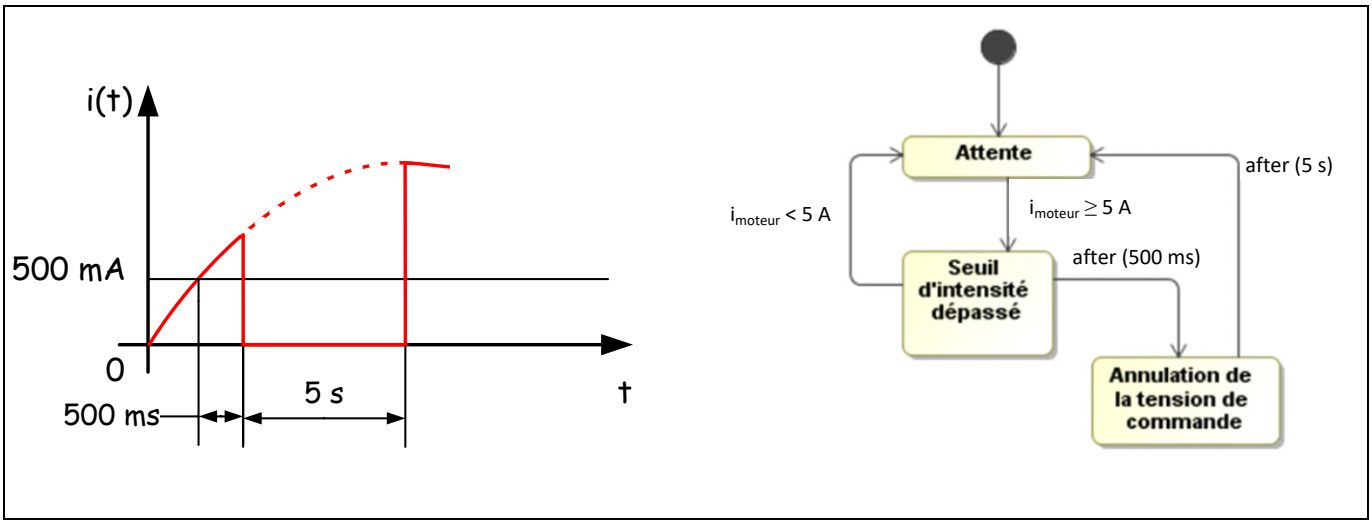
U > 0 : tension qui tend à faire partir le chariot à droite c'est-à-dire à lui faire quitter la butée gauche

Butée droite atteinte ?

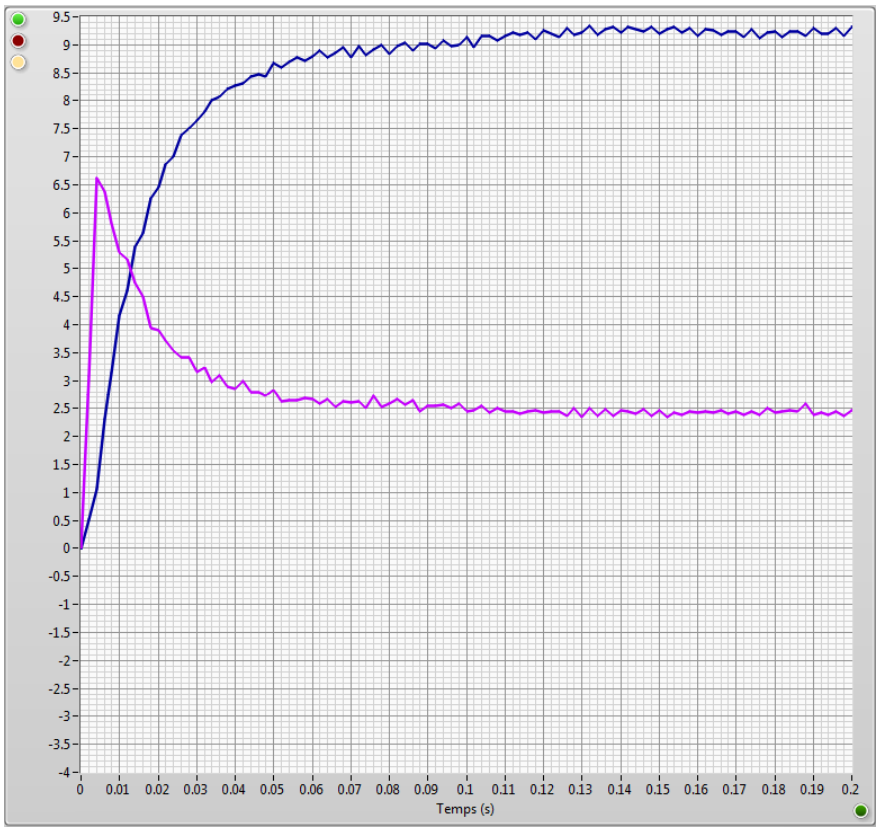


U < 0 : tension qui tend à faire à faire partir le chariot à gauche c'est-à-dire à lui faire quitter la butée droite

Control'Drive intègre aussi une sécurité qui limite les surintensités prolongées : Si une intensité supérieure à 5 A est observée pendant plus de 500 ms, la tension du moteur est annulée pendant 5 s.



N.B. : Une surintensité lors d'un essai assez contraignant dure moins de 20 ms : ci-dessous un essai en boucle ouverte sous 40 V de tension moteur (c'est la tension maxi aux bornes du moteur).



En rose l'intensité (A), en bleu la vitesse du chariot (mm/s divisés par 100) :
Le pic d'intensité dure très peu de temps

Onglets

Ctrl + clic pour revenir au sommaire

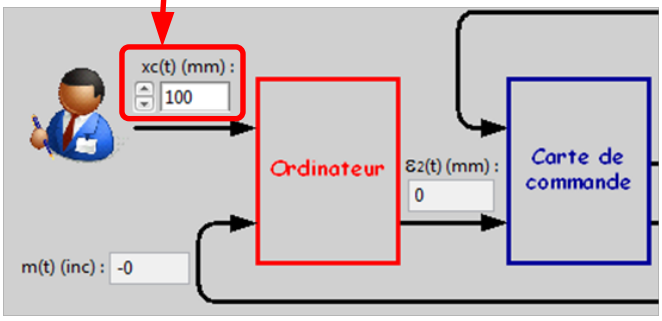
Onglets	
Schéma structurel	page 10
Schéma fonctionnel	page 12
Schéma bloc	page 13
Analyse temporelle	page 16
Analyse harmonique	page 24
Identification / Simulation	page 27
Synthèse correcteur	page 37

Onglet "Schéma structurel"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire

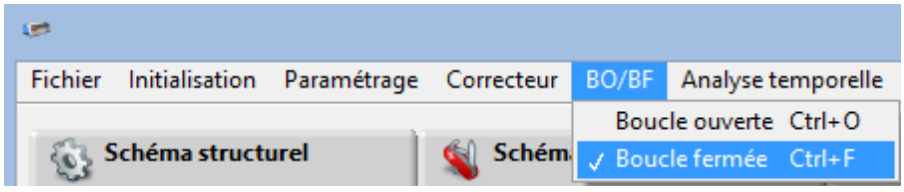
Il s'agit d'un onglet de découverte de Control'X.

Modifier la valeur de la consigne :
- Avec les flèches (pas de 50 mm en BF, 0.5 V en BO)
- En saisissant une valeur au clavier
- En positionnant le curseur de souris à droite de la valeur numérique à modifier et par scrolling (bouton central de la souris)

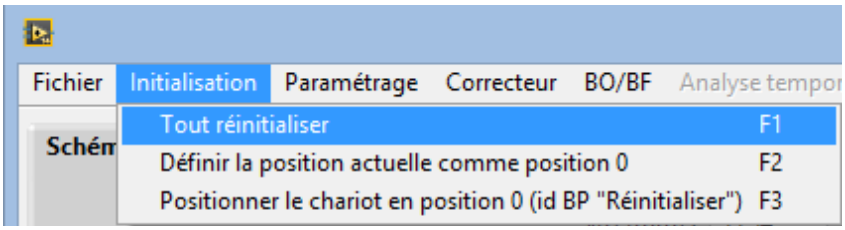


On peut dans cet onglet comme dans la plupart des onglets :

- Spécifier une commande en boucle ouverte ou fermée

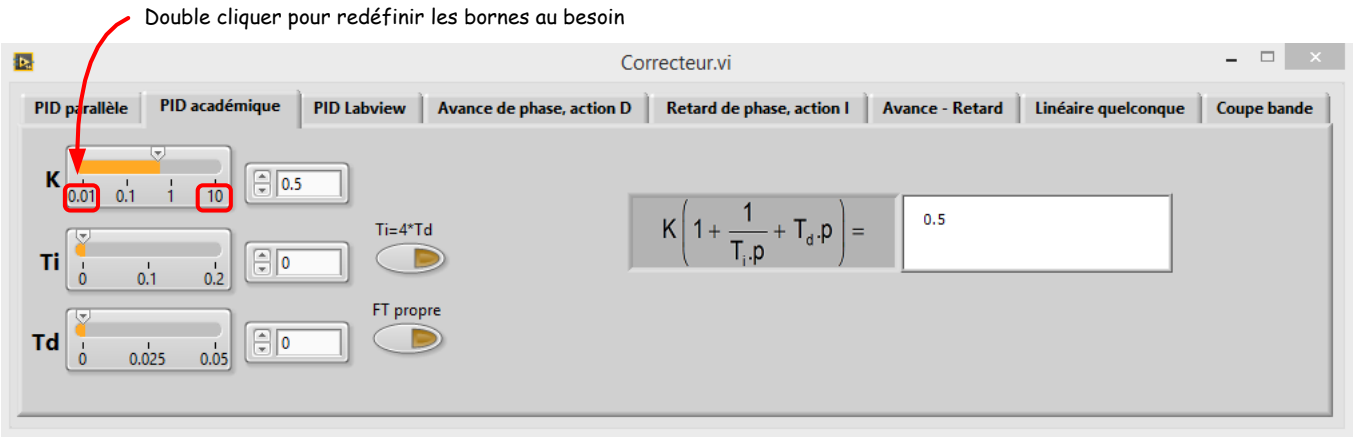


- Utiliser une des trois fonctions de réinitialisation :

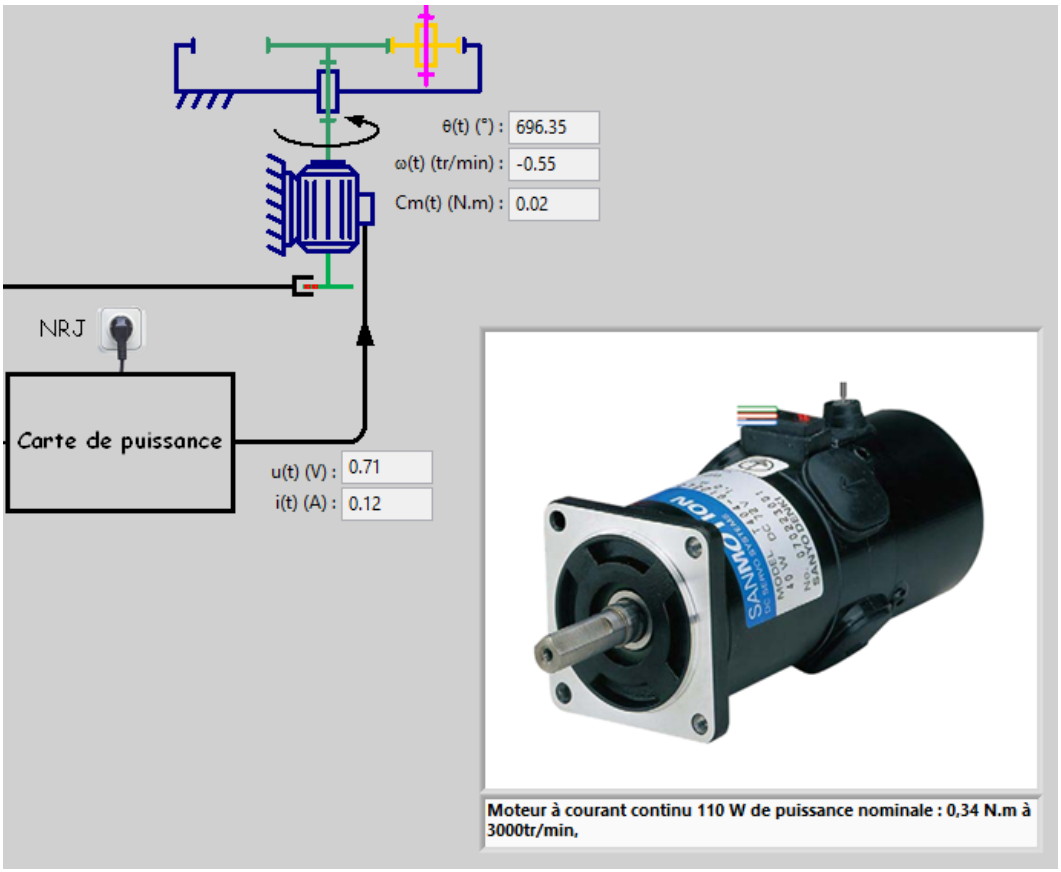


- Exercer des perturbations sur le chariot pour constater que l'asservissement est bien en fonction. Cela permet aussi de cerner les performances en rejet de perturbation du correcteur choisi.

- Modifier le type de correcteur (Menu "Correcteur" si vous l'avez perdu)



- Survoler à la souris les différentes zones de tracé pour visualiser l'organe ciblé et obtenir quelques-unes de ses caractéristiques.

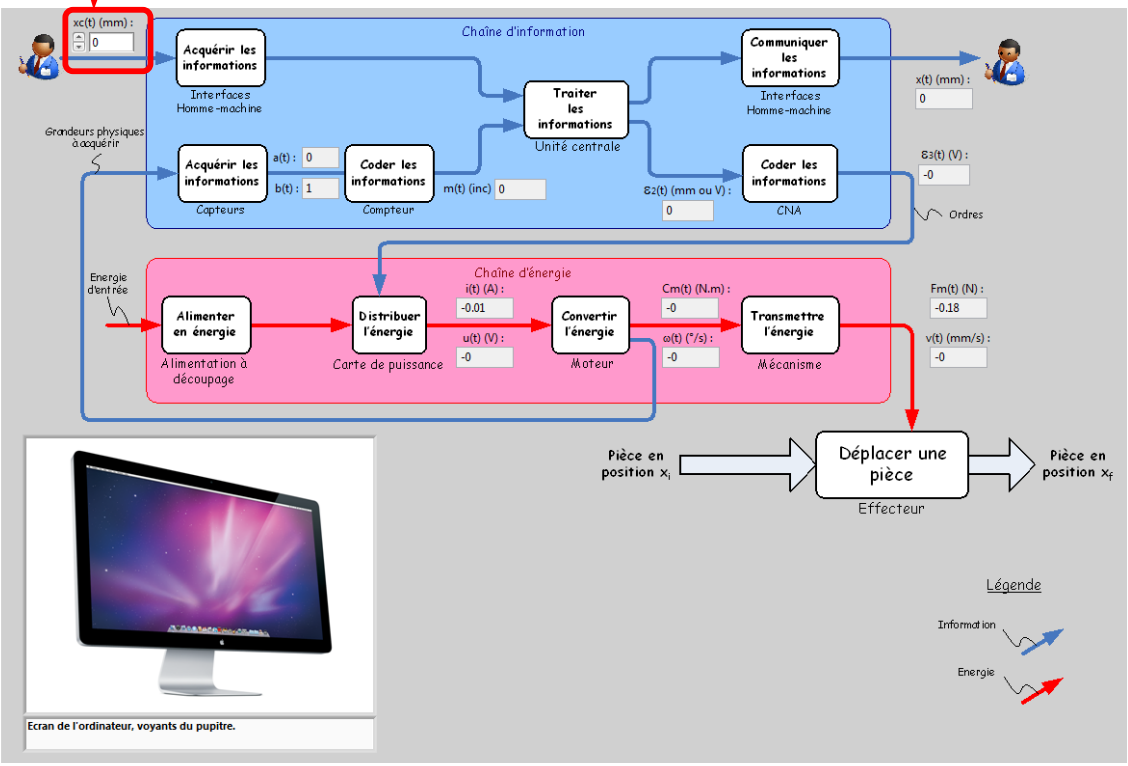


Onglet "Schéma fonctionnel"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire

Cet onglet permet de découvrir la chaîne fonctionnelle mais de façon dynamique et interactive.

Modifier la valeur de la consigne :
- Avec les flèches (pas de 50 mm en BF, 0.5V en BO)
- En saisissant une valeur au clavier
- En positionnant le curseur de souris à droite de la valeur numérique à modifier et par scrolling (bouton central de la souris)



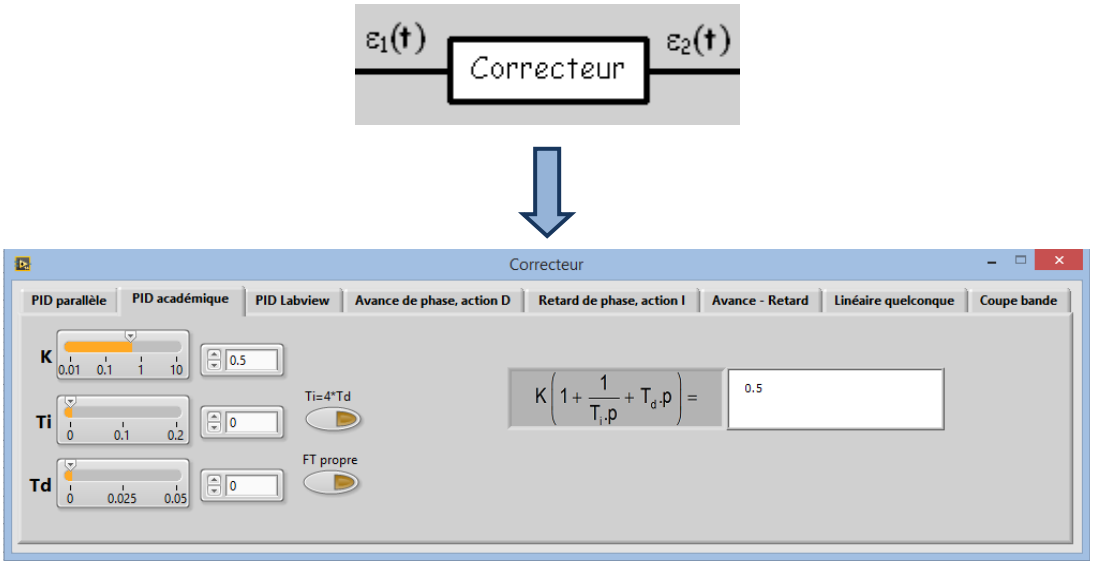
Les mêmes possibilités que celles offertes dans l'onglet "Schéma bloc" sont offertes.

Onglet "Schéma bloc"

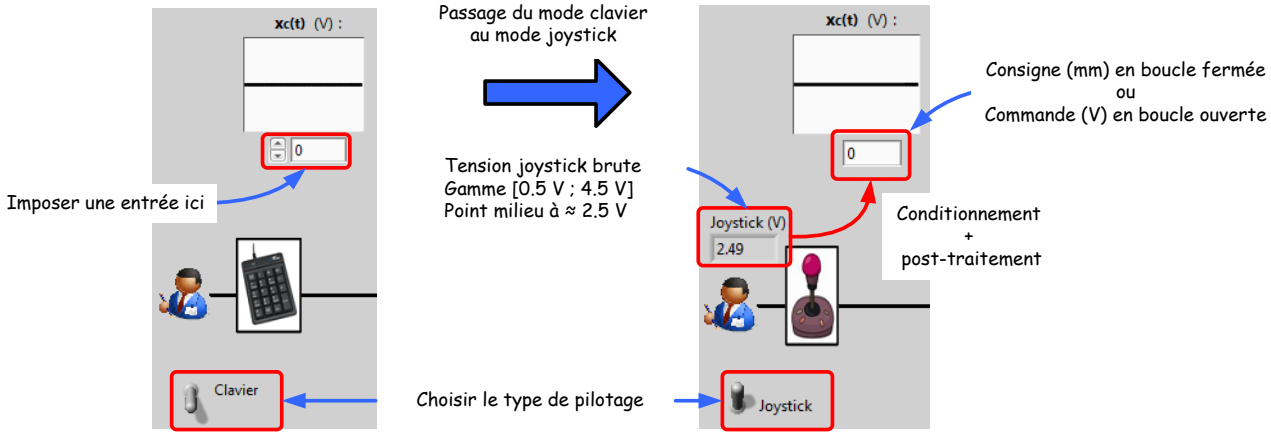
Ctrl + clic pour revenir au sommaire

Cet onglet permet de rentrer plus en détail dans la structure de l'asservissement. On eut y piloter Control'X soit au clavier soit au joystick, en boucle ouverte ou en boucle fermée.

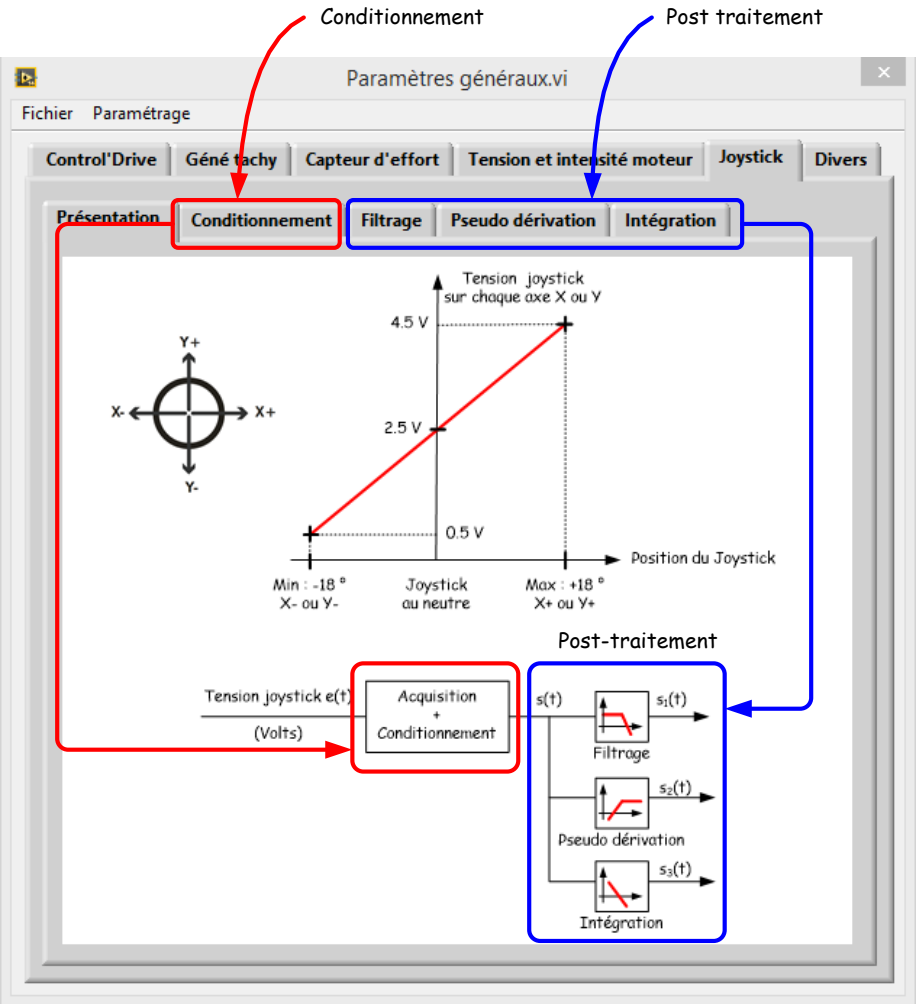
Dans cet onglet comme dans bien d'autres, un clic de souris sur le bloc "Correcteur" permet d'afficher la fenêtre de correcteurs :



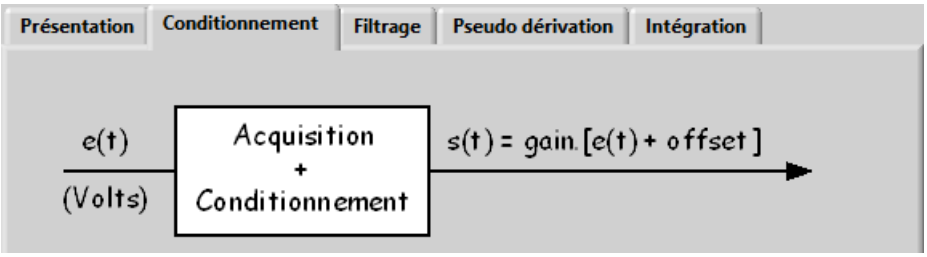
Le pilotage au joystick en boucle ouverte en particulier permet de justifier l'intérêt de l'asservissement de position.



Le signal du joystick subit dans tous les cas un conditionnement puis un post-traitement : menu "Paramétrage", "Professeur" ou "Elève" puis onglet "Joystick" pour effectuer des modifications :



Le conditionnement consiste en l'application d'un gain et d'un offset :



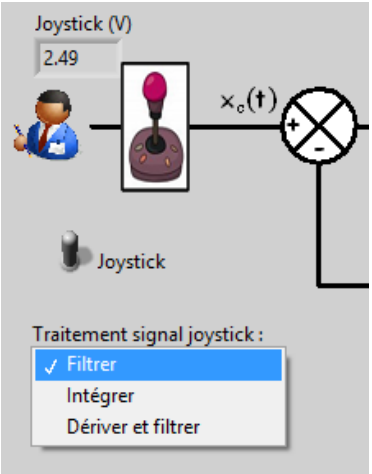
Par défaut les réglages sont les suivants :

- En boucle ouverte : s(t) = 5 x (e(t) + offset)
  Signal s(t) dans la gamme [-10 V ; 10 V], point milieu à ≈ 0 V

- En boucle fermée : s(t) = 100 x (e(t) + offset)
  Signal dans la gamme [-200 mm ; 200 mm], point milieu à ≈ 0 mm

Après le conditionnement, un post-traitement à choisir parmi les trois proposés est effectué :

- Filtrage (filtre passe bas d'ordre 1 de gain statique unité)
- Intégration
- Dérivation + filtrage



- L'intégration du signal permet, en boucle fermée, de retrouver un comportement de l'axe similaire à celui observable en boucle ouverte : la vitesse devient, en régime permanent, image de la position du joystick.

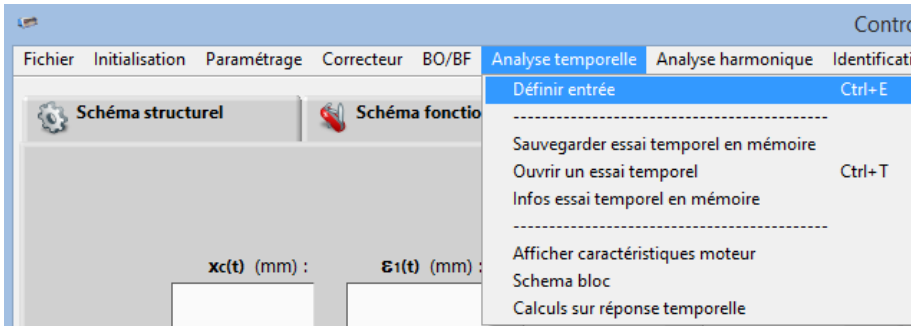
- La dérivation du signal permet, en boucle ouverte, de retrouver un comportement de l'axe similaire à celui observable en boucle fermée : la position devient, en régime permanent, image de la position du joystick.

Onglet "Analyse temporelle"

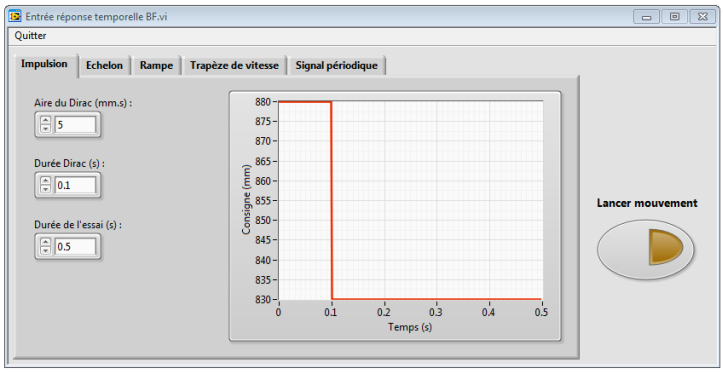
Ctrl + clic pour revenir au sommaire

Cet onglet est dédié à l'analyse temporelle du comportement de Control'X

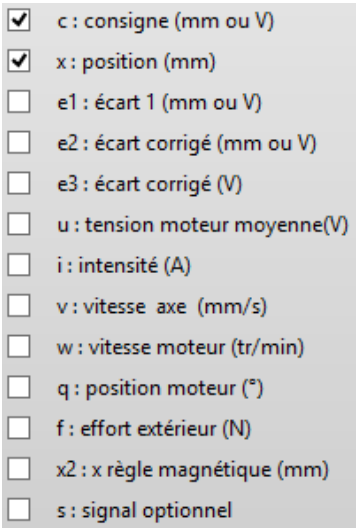
Pour lancer un pilotage temporel utiliser le menu "Analyse temporelle" puis "Définir une entrée"



Sélectionner alors le type d'entrée et cliquer sur "Lancer Mouvement"



Les signaux temporels analysés sont les suivants :



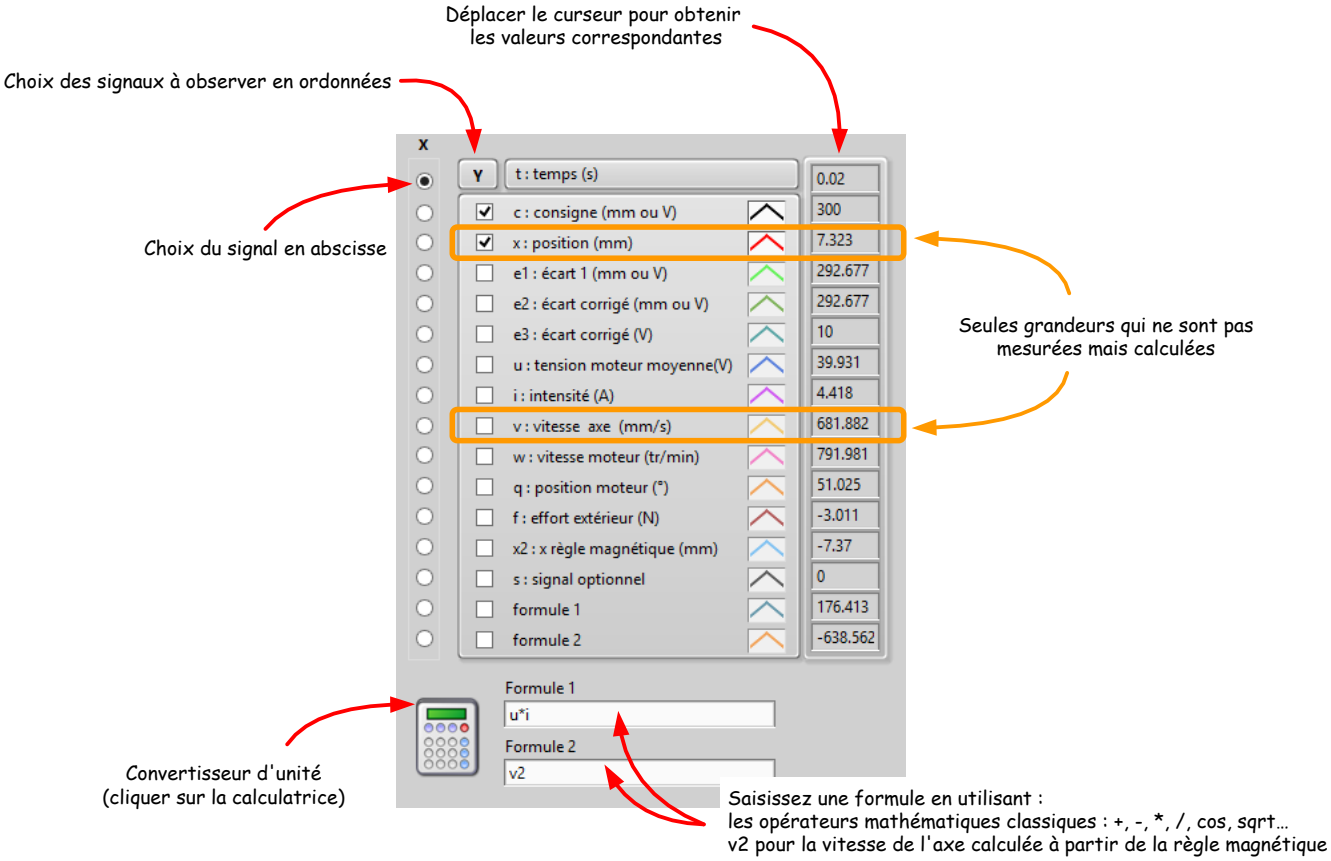
Signal	Mnémonique	Moyen de mesure	Capteur
Consigne	c	Mesurée en interne de l'ordinateur,	
Position	x	Signal élaboré à partir de la position angulaire du moteur (q)	Pas de capteur
Ecart 1	e1	Mesuré en interne de l'ordinateur	
Ecart 2	e2	Mesuré en interne de l'ordinateur	
Ecart 3	e3	CAN de la carte de commande	
Tension moteur	u	CAN de la carte de commande	Electronique de conditionnement de la tension aux bornes du moteur. Il s'agit en fait de la valeur moyenne de la tension moteur, cette dernière étant elle un signal PWM à 53.6 kHz
Intensité moteur	i	CAN de la carte de commande	Le variateur de vitesse génère une tension image de l'intensité moteur
Vitesse axe	v	Signal élaboré à partir de la vitesse angulaire du moteur (w)	Pas de capteur
Vitesse moteur	w	CAN de la carte de commande	Génératrice tachymétrique montée sur l'arbre moteur
Position moteur	q	Compteur de la carte de commande	Codeur incrémental monté sur l'arbre moteur
Effort extérieur	f	CAN de la carte de commande	Capteur d'effort
Position	x2	Compteur de la carte de commande	Règle magnétique montée sur l'axe (Codeur incrémental)
Signal optionnel	s	Compteur ou CAN de la carte de commande selon le signal choisi	Codeur incrémental, capteur de distance Sharp ou accéléromètre X (voir menu "Paramétrage" dans ce document)

Tous les signaux sont des signaux effectivement mesurés sauf :

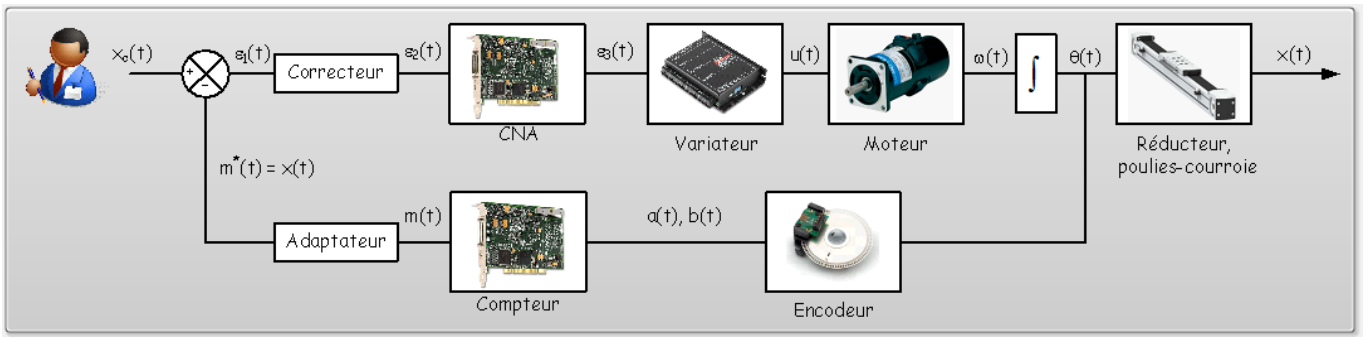
- Le signal "x : position" qui est calculé à partir de la position angulaire de l'arbre moteur q (codeur incrémental monté sur l'arbre moteur).

- Le signal "v : vitesse axe" qui est calculé à partir de la vitesse angulaire de l'arbre moteur w (génératrice tachymétrique montée sur l'arbre moteur).

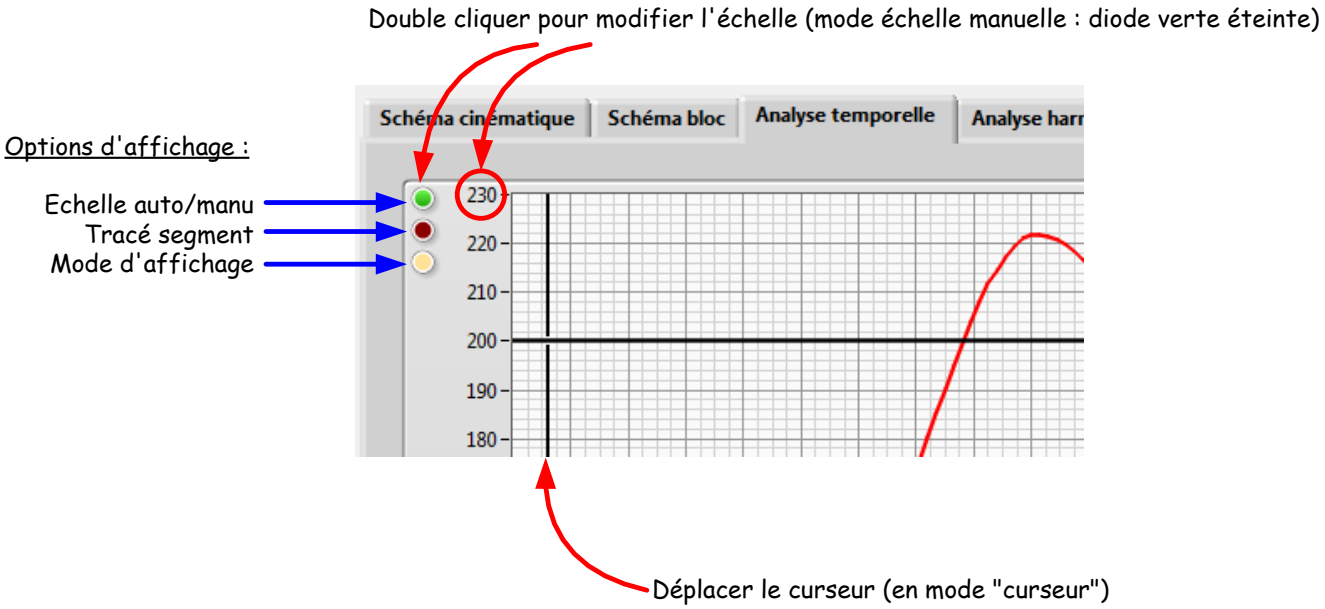
Nota : Le seul capteur utilisé dans le contexte industriel d'origine est le codeur incrémental monté sur l'arbre moteur (mnémonique q). C'est pour cette raison que l'asservissement de Control'X repose sur la mesure de l'angle moteur (signal q d'où l'on estime x) et non pas la mesure issue de la règle magnétique (signal x2).



Il est souvent utile lorsque l'on découvre Control'Drive d'afficher le schéma-bloc dans une zone de l'écran pour bien interpréter les différents signaux : Menu "Analyse temporelle", "Schéma bloc"

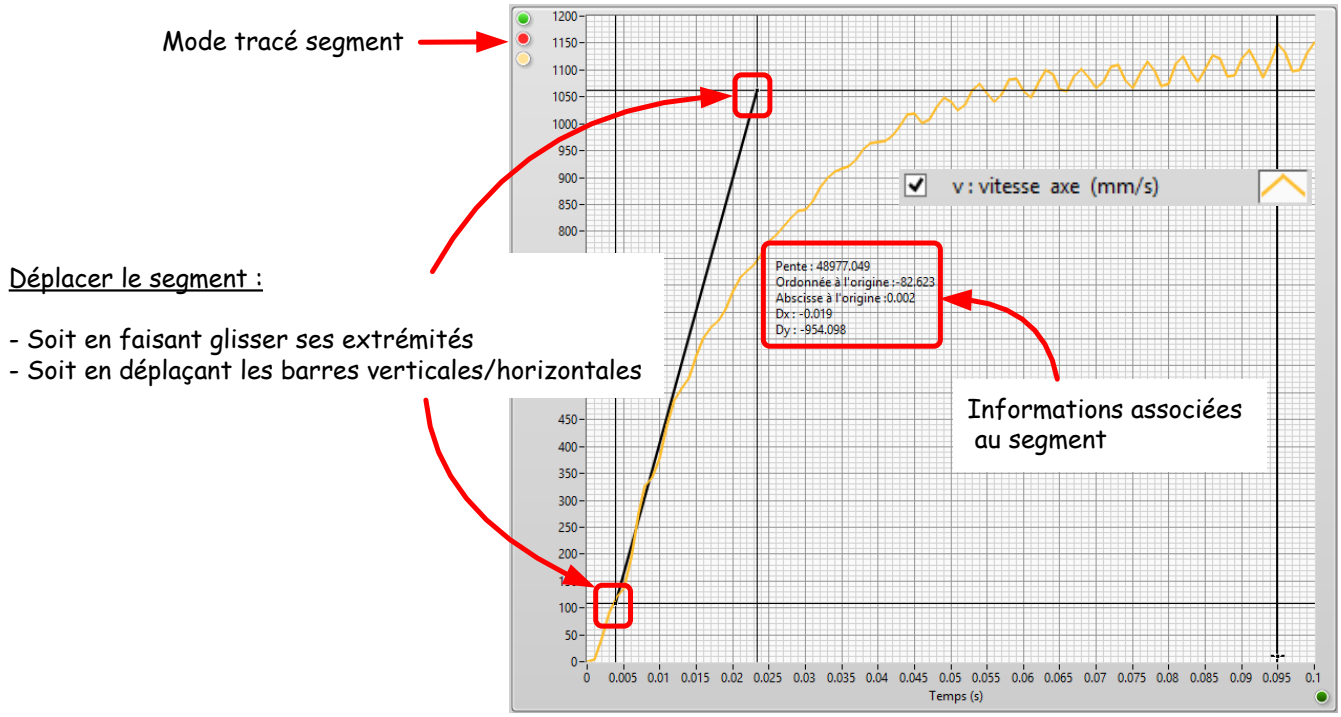


Fonctions associées au graphe :



Mode curseur : permet de déplacer le curseur le long d'une courbe ou de sauter de courbe en courbe.	**Mode zoom** : permet de sélectionner le type de zoom : **seulement si les échelles ne sont pas en mode automatique** (diodes vertes)	**Mode panoramique** : permet de faire glisser la zone observée

L'outil "segment est très utile pour effectuer des mesures sur une courbe donnée : Accélération, temps de montée, pseudo période, constante de temps…

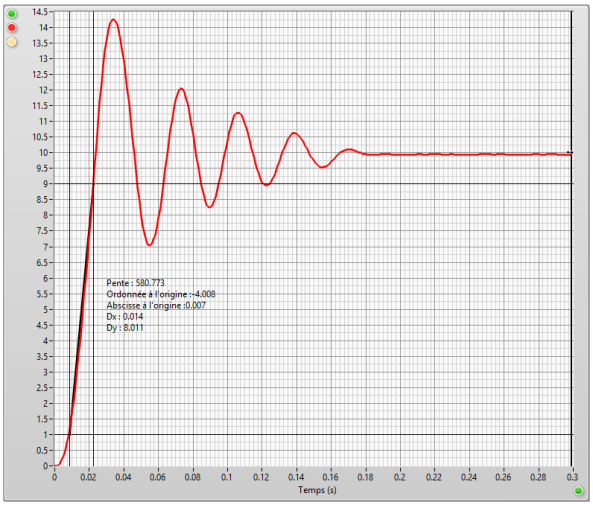


Mode curseur pour mesurer ici une accélération (48 m/s^2) sur la courbe de vitesse

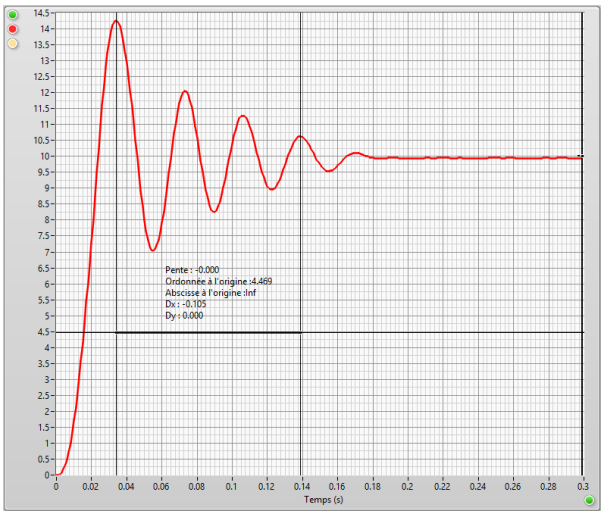
Nota : Le cadre des quelques informations associées au segment ont une position qui dépend de l'une des extrémités du segment. Pour que ce cadre soit visible, il faut généralement le repositionner à l'endroit souhaité en effectuant en glissé-déposé avec la souris.

Autres exemples d'utilisation du segment

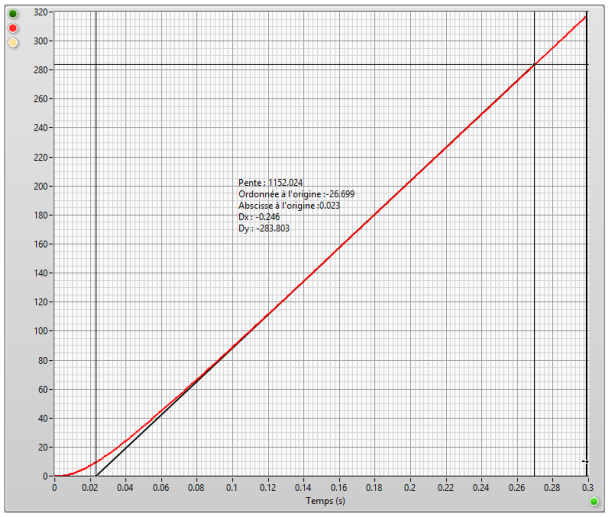
Mesure d'un temps de montée



Mesure d'une pseudo période



Identification d'une constante de temps ou d'un gain statique

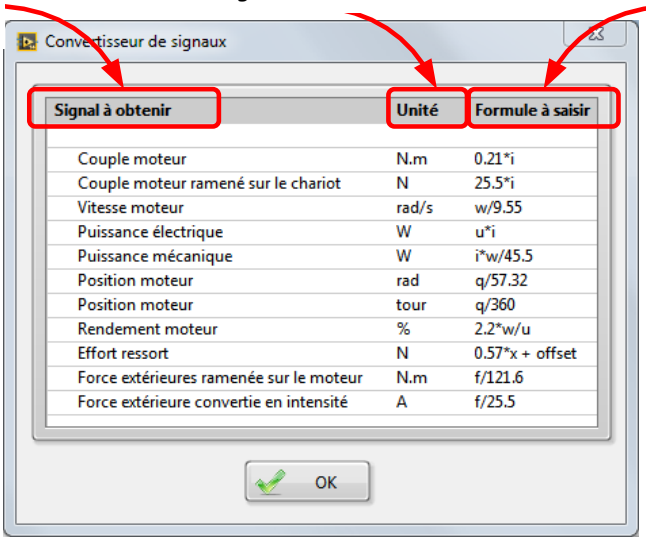


Le convertisseur de signaux permet d'obtenir rapidement des signaux lorsqu'on ne souhaite pas perdre de temps à effectuer des conversions d'unité ou lorsqu'on n'a pas en tête les certaines grandeurs propres à Control'X (rayon de poulie, constante de couple…)

Signal à élaborer à partir des mesures de base

Unité du signal élaboré

Formule à saisir dans le champ formule 1 ou formule 2



Signal à obtenir	Unité	Formule à saisir
Couple moteur	N.m	0.21*i
Couple moteur ramené sur le chariot	N	25.5*i
Vitesse moteur	rad/s	w/9.55
Puissance électrique	W	u*i
Puissance mécanique	W	i*w/45.5
Position moteur	rad	q/57.32
Position moteur	tour	q/360
Rendement moteur	%	2.2*w/u
Effort ressort	N	0.57*x + offset
Force extérieures ramenée sur le moteur	N.m	f/121.6
Force extérieure convertie en intensité	A	f/25.5

Méthode de calcul des différentes grandeurs :

$C_{moteur} = k_c.i$

$F_{motrice} = C_{moteur}.\frac{i}{R}$

$P_{électrique} = u.i$

$P_{mécanique} = C_{moteur}.\omega_{moteur}$

$\eta_{moteur} = \frac{P_{mécanique}}{P_{électrique}}$

$F_{ressort} = k_{ressort}.x + cste$

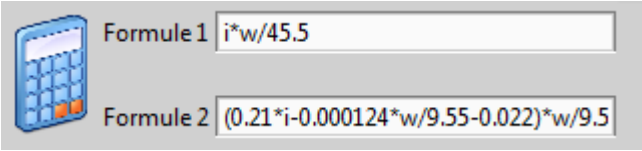
$C_{ext} = F_{ext}.\frac{R}{i}$

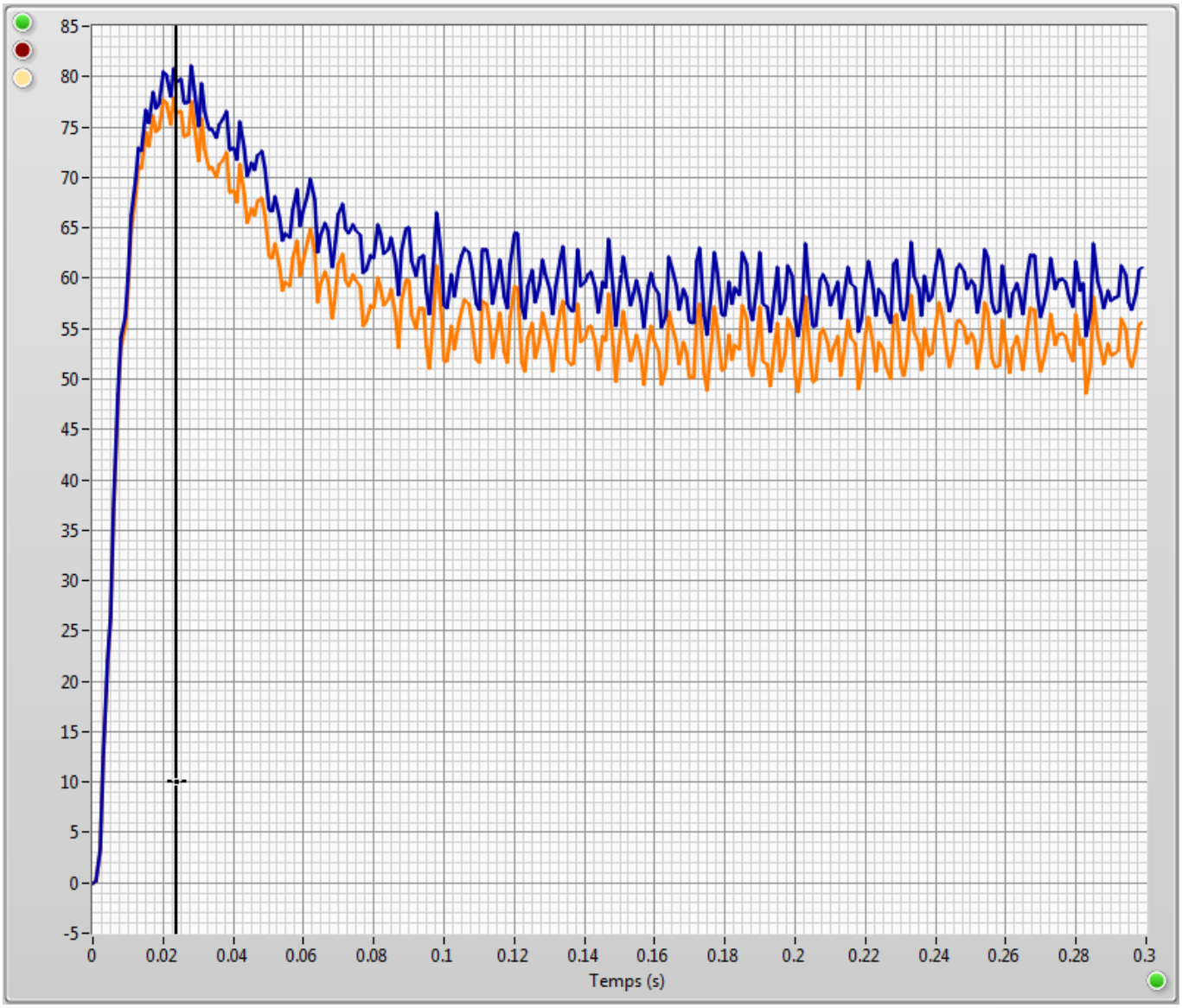
$i_{ext} = \frac{C_{ext}}{k_c} = \frac{F_{ext}.R}{k_c.i}$

où $k_c = 0.21$ N.m/A, $i = 3$, $R = 0.02467$ m, $k_{ressort} = 0.55$ N/mm

Certaines conversions sont soumises à hypothèses ou à discussion. Libre à chacun de renseigner ce que bon lui semble dans le champ "Formule 1" ou "Formule 2".

Ci-dessous par exemple les tracés de la puissance mécanique comme indiqué dans le tableau de conversion et cette même puissance mais diminuée de la puissance perdue par les frottements internes au moteur : environ 7 watts sont perdus par frottements en régime permanent.





Puissances mécaniques avec et sans prise en compte des frottements internes du moteur

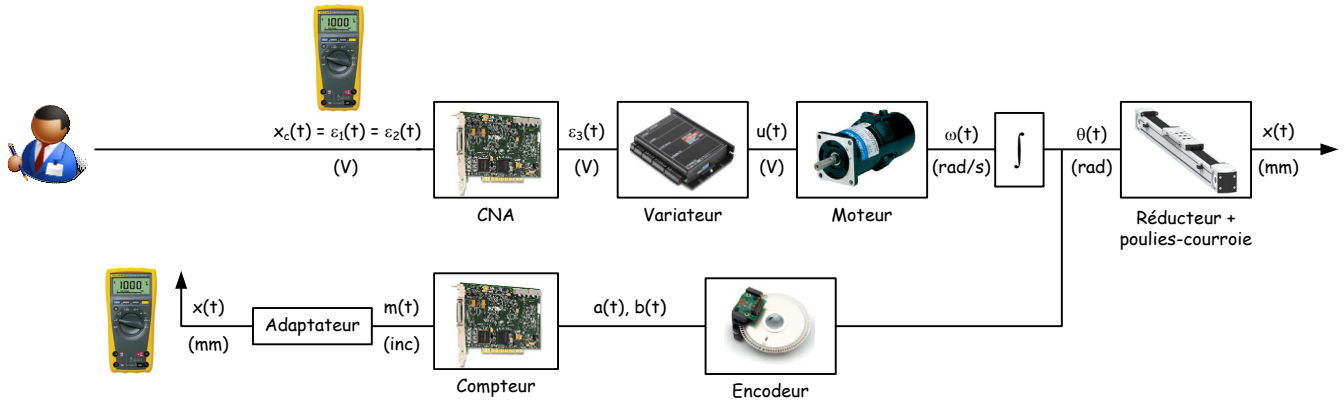
Onglet "Analyse harmonique"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire

On peut lancer une analyse harmonique en boucle ouverte ou en boucle fermée : Les tracés fréquentiels sont obtenus automatiquement.

Essai en boucle ouverte :

Les signaux temporels analysés sont $x_c(t) = \varepsilon_1(t) = \varepsilon_2(t)$ en entrée d'une part et $x(t)$ en sortie d'autre part. L'amplitude du signal sinusoïdal excitateur est exprimée en Volts.



Essai en boucle fermée :

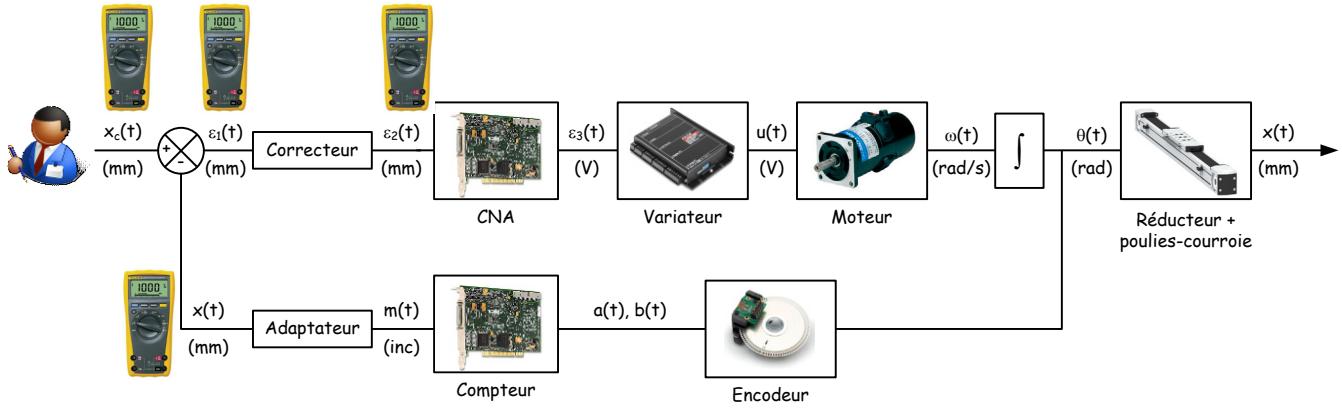
Les signaux temporels analysés sont $x_c(t)$ d'une part et $x(t)$ d'autre part. Mais les signaux $\varepsilon_1(t)$ et $\varepsilon_2(t)$ sont aussi analysés. Cela permet de tracer non seulement le diagramme fréquentiel de la boucle fermée mais aussi les diagrammes fréquentiels du correcteur seul, de la boucle ouverte corrigée et de la boucle ouverte non corrigée.

Analyse du déphasage et du gain des signaux	Pour tracer le diagramme fréquentiel de :
$x_c(t)$ en entrée $x(t)$ en sortie	Boucle fermée
$\varepsilon_1(t)$ en entrée $\varepsilon_2(t)$ en sortie	Correcteur
$\varepsilon_2(t)$ en entrée $x(t)$ en sortie	Boucle ouverte non corrigée
$\varepsilon_1(t)$ en entrée $x(t)$ en sortie	Boucle ouverte corrigée

L'essai est bien effectué en boucle fermée mais donne aussi accès au comportement en boucle ouverte : cela fonctionne particulièrement bien pour des correcteurs proportionnels.

Pour obtenir un tracé fréquentiel de la boucle ouverte de la meilleure qualité possible, il vaut mieux effectuer un essai en boucle ouverte.

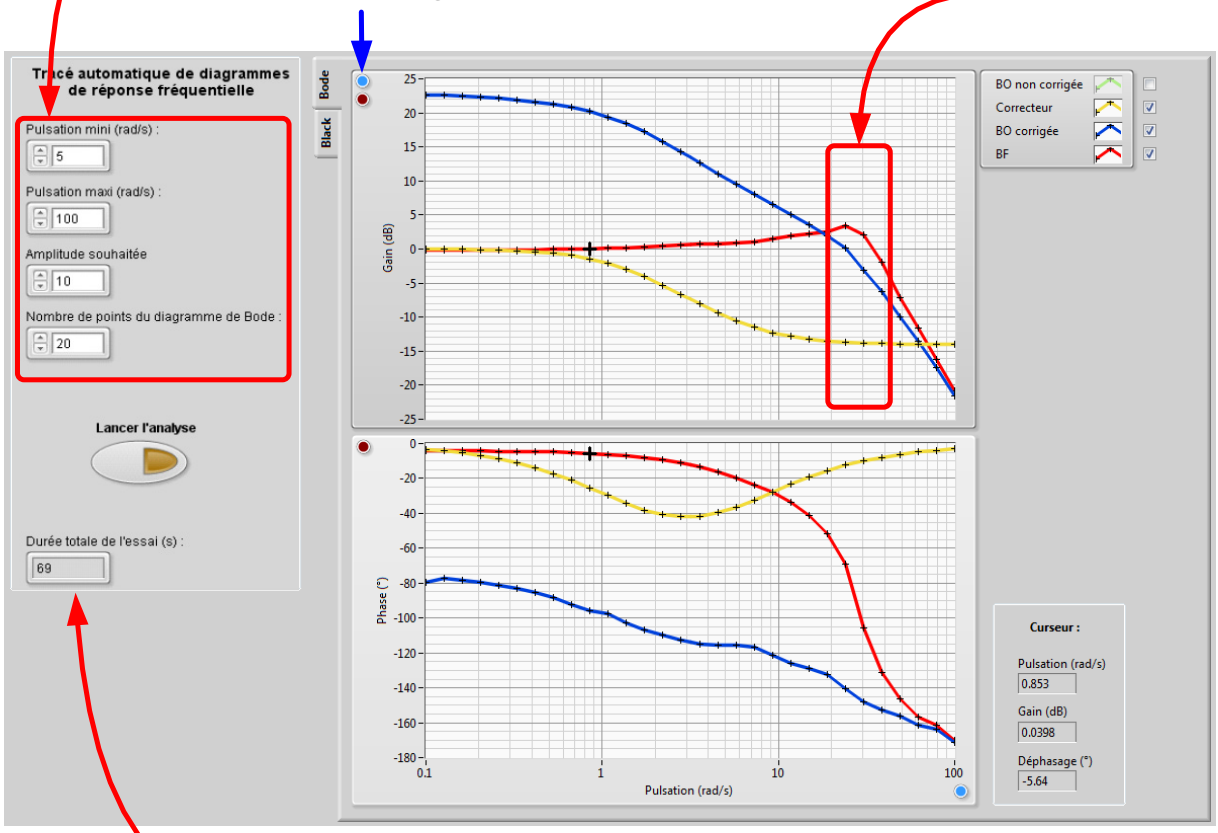
L'amplitude du signal sinusoïdal excitateur est exprimée en mm



Paramètres de l'essai

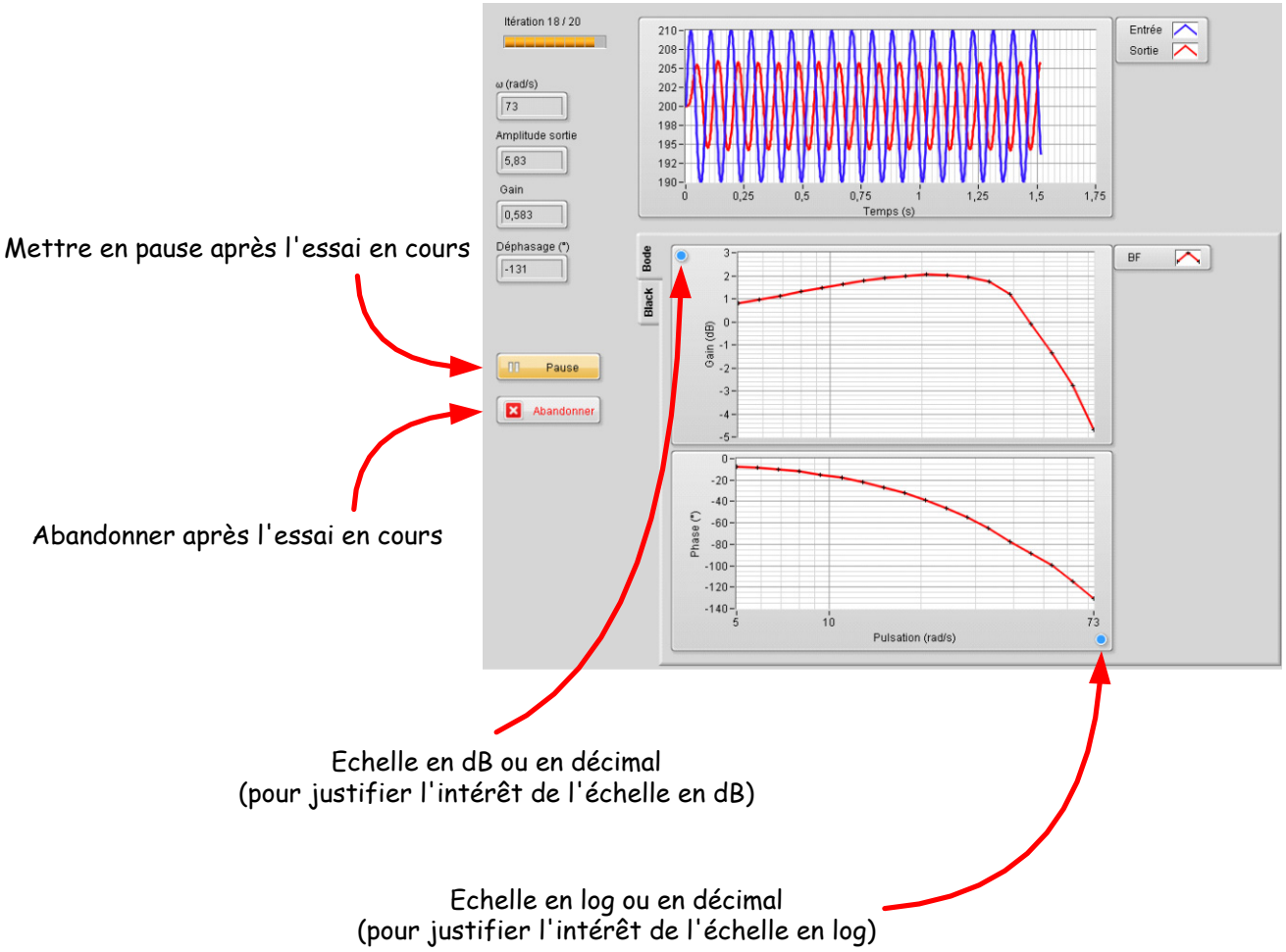
Diode bleue : échelle log ou décimale

La pulsation de coupure à 0dB de la BO est très voisine de la BP_{-3dB} de la BF



Attention avec des pulsations d'excitations faibles, la durée de l'essai peut devenir importante.

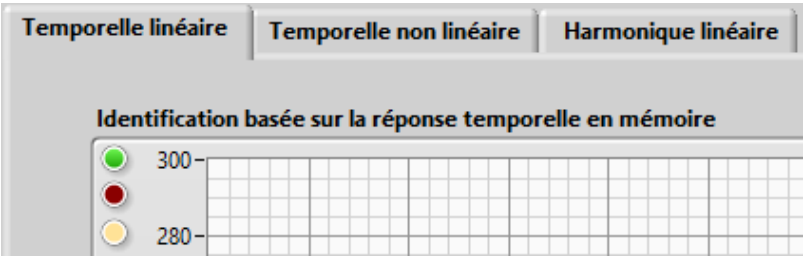
A chaque itération, on peut visualiser le signal temporel d'entrée (bleu) et le signal temporel de sortie (rouge).
Dès que le régime permanent est atteint, le gain et le déphasage sont estimés et un point est ajouté au diagramme fréquentiel (Bode au Black).



Onglet "Identification / Simulation"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire

Dans cet onglet, on peut procéder à l'identification d'une réponse temporelle ou harmonique.



L'identification est faite sur la base des résultats en mémoire il s'agit :

Soit de la réponse en mémoire au lancement de Control'Drive
Soit du dernier essai temporel/harmonique effectué
Soit du dernier essai temporel/harmonique chargé depuis un fichier de sauvegarde

Sous onglets
Temporelle linéaire
Temporelle non linéaire
Harmonique (linéaire)

Sous onglet "Identification / Simulation", "Temporelle linéaire"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir à l'onglet "Identification / Simulation"

Bloquer l'échelle assez rapidement pour que la réponse simulée n'impose pas sa propre échelle

L'outil tracé segment permet de mesurer rapidement de nombreuses caractéristiques sur la réponse.

Entrée indicielle ou réelle

Choix du signal à identifier

Caractéristiques du signal d'entrée (si échelon)

Identification basée sur la réponse temporelle en mémoire

Modèle
Réel
Entrée

Définition entrée :
Entrée indicielle, Sortie : Position (mm)
Amplitude l'échelon : 10.0
Retard échelon (s) : 0
Offset échelon : 0

Conditions initiales :
Conditions initiales non nulles

Pente : 0.000
Ordonnée à l'origine : 8.269
Abscisse à l'origine : -Inf
Dx : 0.051
Dy : 0.000
1/Dx : 19.421

Temps (s)

Identification temporelle linéair...

Identification temporelle linéaire

1° Ordre | 2° Ordre | Ordre quelconque

K: 1
ζ: 0.31444
ωn: 94

Rajouter un intégrateur

FT : $\frac{1}{(1 + 0.00669s + 0.000113s^2)}$

Menu "Identification", "Fenêtre d'identification temporelle" si la fenêtre a été fermée

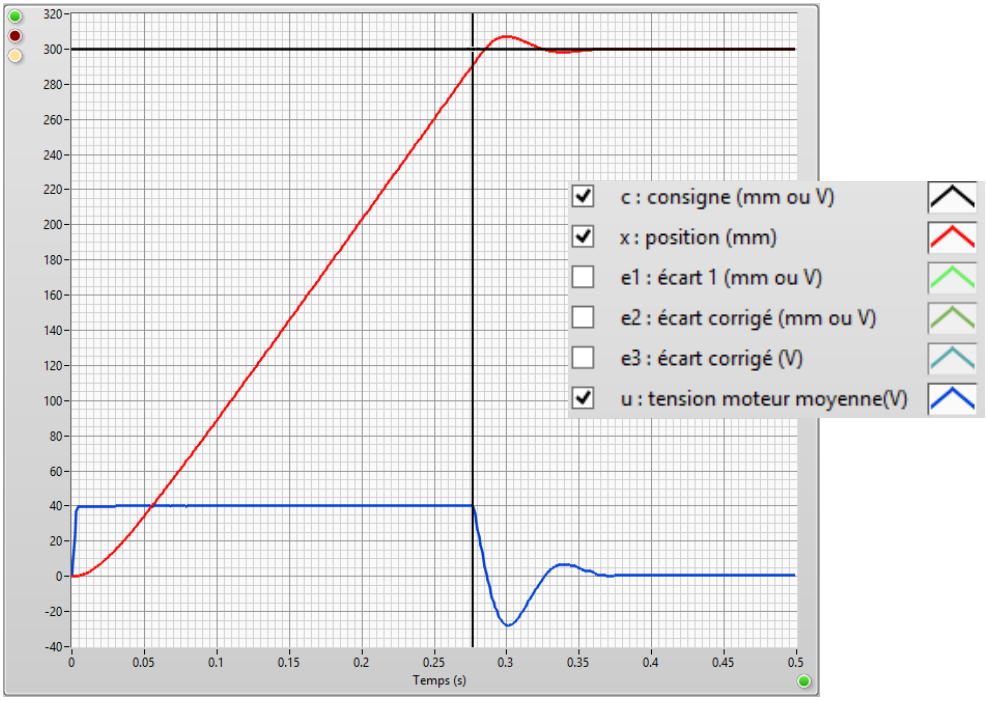
Modèle envisagé

Identification | Bonus
Fenêtre d'identification temporelle linéaire
Fenêtre d'identification harmonique

L'identification d'un comportement par un modèle linéaire peut assez rapidement se révéler illusoire si le système subit des phénomènes non linéaires importants. Rappelons que les deux principales non linéarités sont la saturation de la carte de commande à ± 10 V et les frottements secs. Il est souvent intéressant de vérifier avant l'identification que la saturation de la carte de commande n'a pas duré trop longtemps.

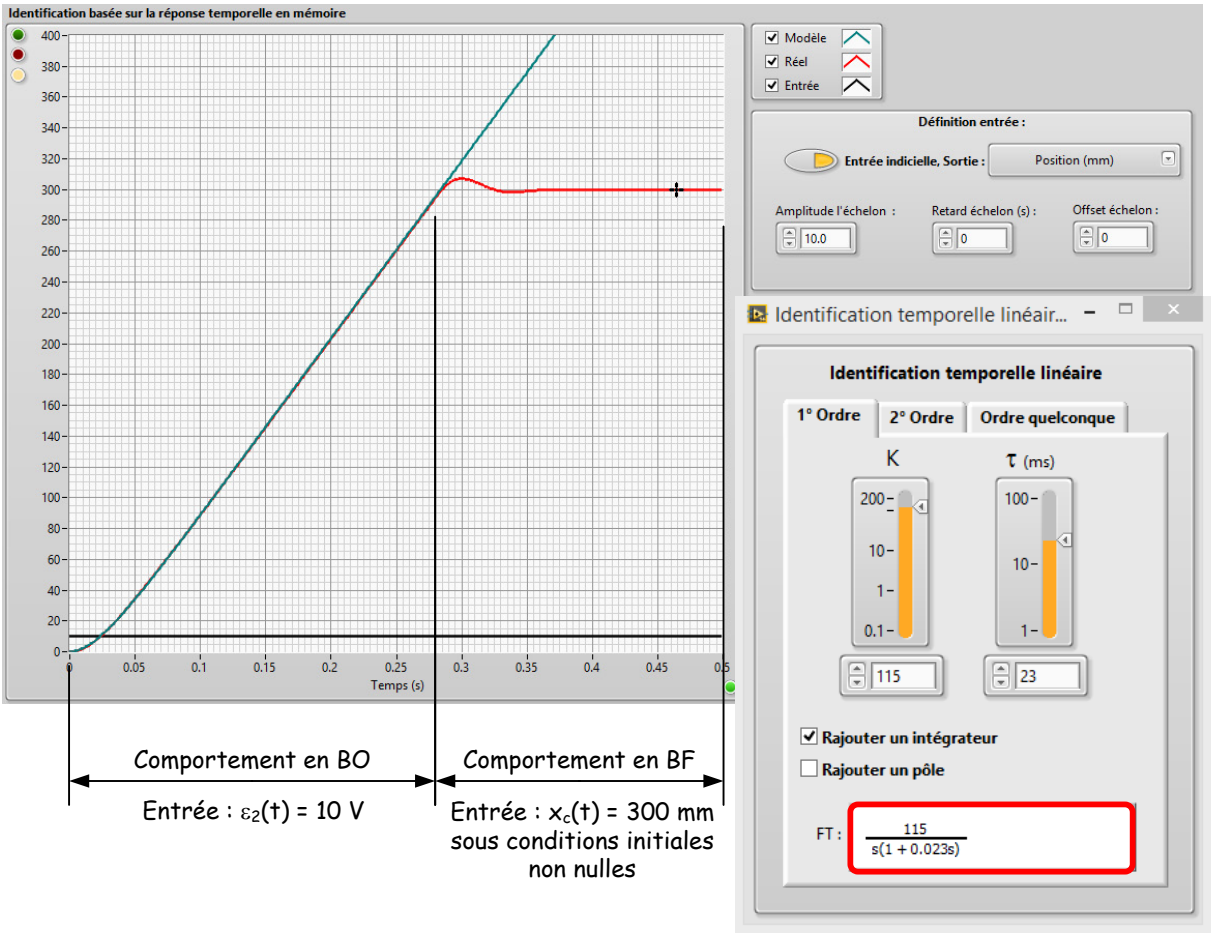
Nota : Le bouton poussoir "Entrée indicielle, sortie :" permet d'imposer une entrée qui n'est pas forcément celle correspondant à l'entrée réelle.

Prenons l'exemple d'un essai de réponse indicielle de 300 mm avec un correcteur proportionnel de gain 1. Le système sature très longtemps : tant que la sortie n'a pas atteint 290 mm. Tout se passe alors sur cet intervalle de temps comme si le système était alimenté sous $\varepsilon_2(t)$ = 10 V, c'est à dire que tout se passe comme si le système était alors en boucle ouverte.



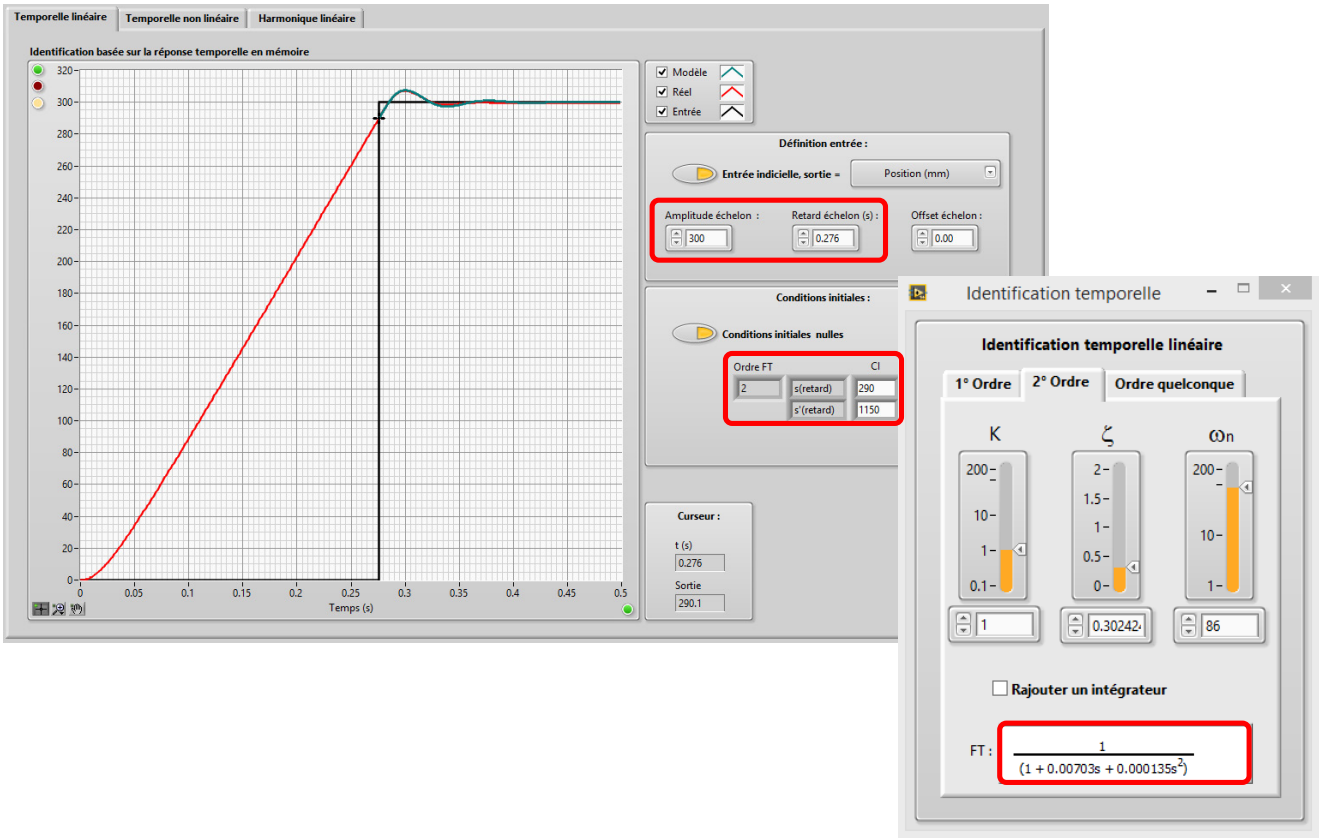
Le système a effectivement saturé pendant très longtemps (277 ms sur les 350 ms que dure l'essai)

L'identification doit alors se faire avec une entrée valant 10 V et non pas 300 mm.



Réponse indicielle de 300 mm, gain de correcteur de 1
C'est le comportement en boucle ouverte qui doit être en fait identifié aux premiers instants.

Après la période de saturation, une identification de la boucle fermée est possible…mais sous conditions initiales non nulles :



Réponse indicielle de 300 mm, gain de correcteur de 1
Modèle linéaire à partir de l'instant où il n'y a plus saturation

Sous onglet "Identification / Simulation", "Temporelle non linéaire"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir à l'onglet "Identification / Simulation"

Dans cet onglet, quatre modèles courants sont proposés. Il peut être utile de lire le document "Eléments de modélisation" pour bien cerner l'esprit dans lequel sont construits ces modèles.

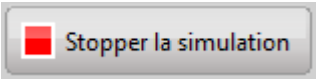
Les simulations sont lancées en boucle pour permettre des modifications à la volée des différents paramètres. La durée de simulation est choisie par défaut automatiquement de façon à pouvoir observer les phénomènes intéressants :

- C'est la durée de l'expérimentation en mode échelle des X automatique (diode verte allumée)
- C'est la durée correspondant au maximum de l'échelle des X en mode échelle manuelle (diode verte éteinte).

Dans tous les cas, la durée de simulation est limitée à 2 secondes.

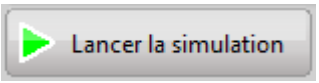
Le solveur est un solveur à pas fixe de type Runge-Kutta.

Selon les valeurs numériques entrées (notamment des valeurs très éloignées de l'ordre de grandeur attendu) la simulation peut être longue et l'interaction avec l'utilisateur est alors dégradée. On peut alors mettre fin à la simulation en cours en cliquant sur l'icône :



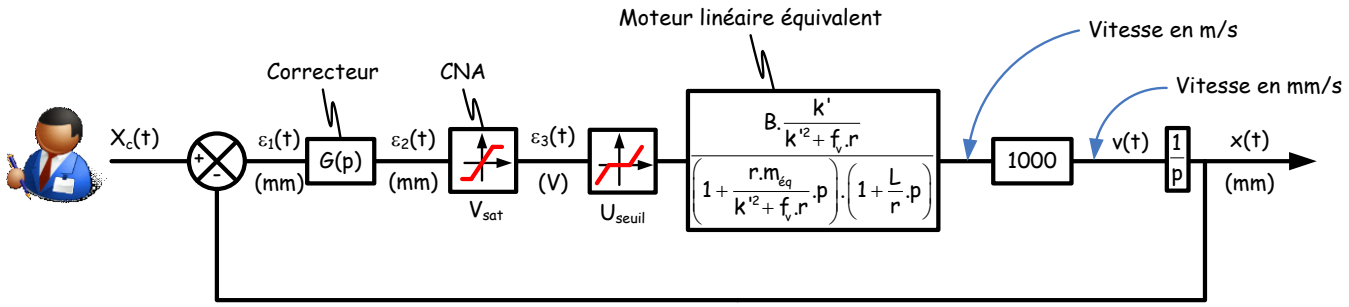
La simulation est aussi stoppée automatiquement lorsque le solveur rencontre une erreur : certaines fonctions de transfert non causales par exemple.

Une fois la simulation stoppée, il faut certainement revoir l'ordre de grandeur de certains paramètres ou rendre causales certaines fonctions de transfert puis relancer la simulation :

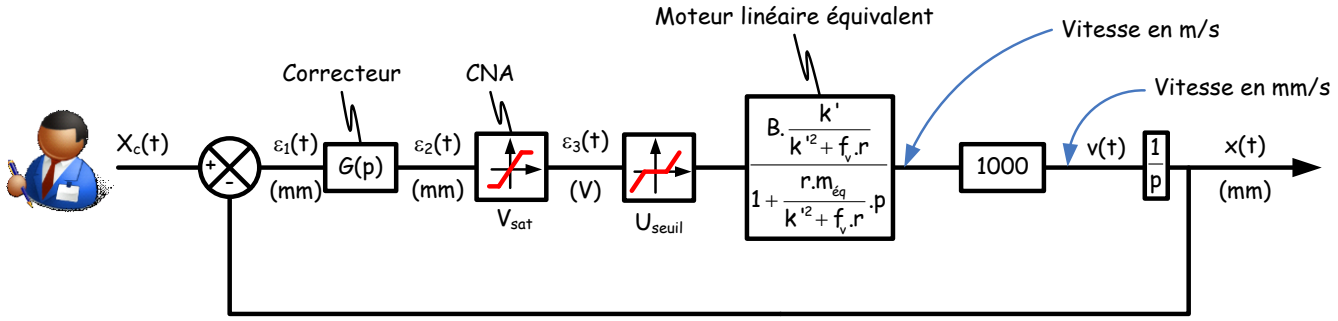


On présente très succinctement ci-dessous quatre types de modèles que l'on envisage :

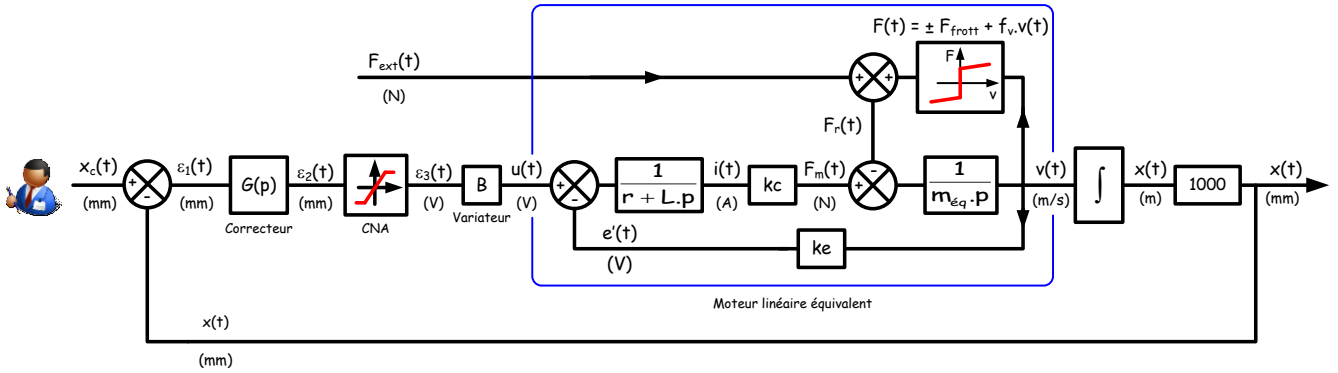
Modèle 1 : Saturation éventuelle de la carte de commande et frottements secs modélisés par une tension de seuil.



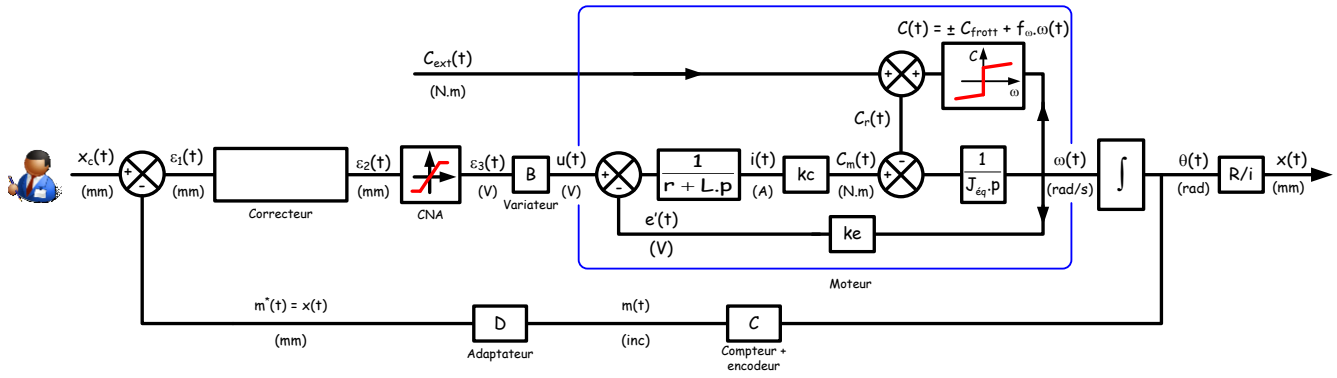
ou plus simplement



Modèle 2 : Zoom sur moteur linéaire équivalent

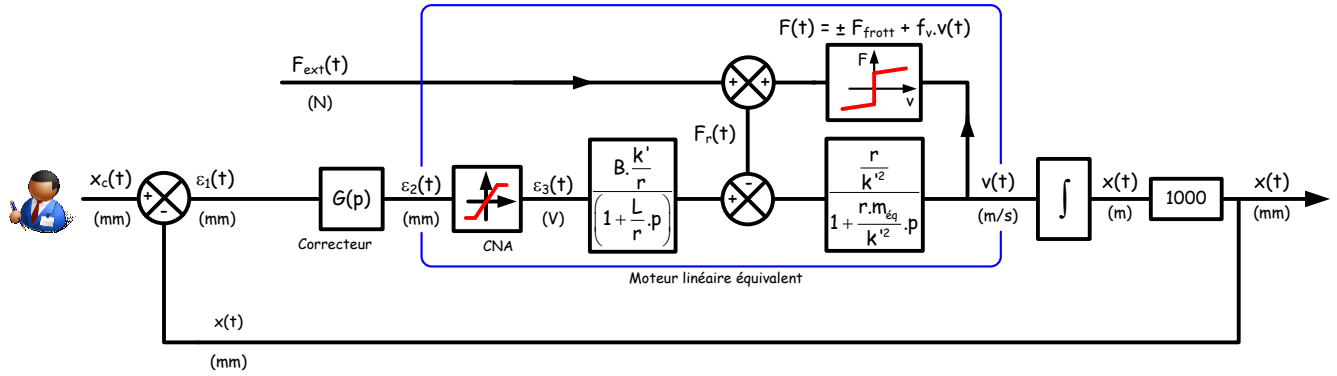


Modèle 3 : Zoom sur moteur rotatif

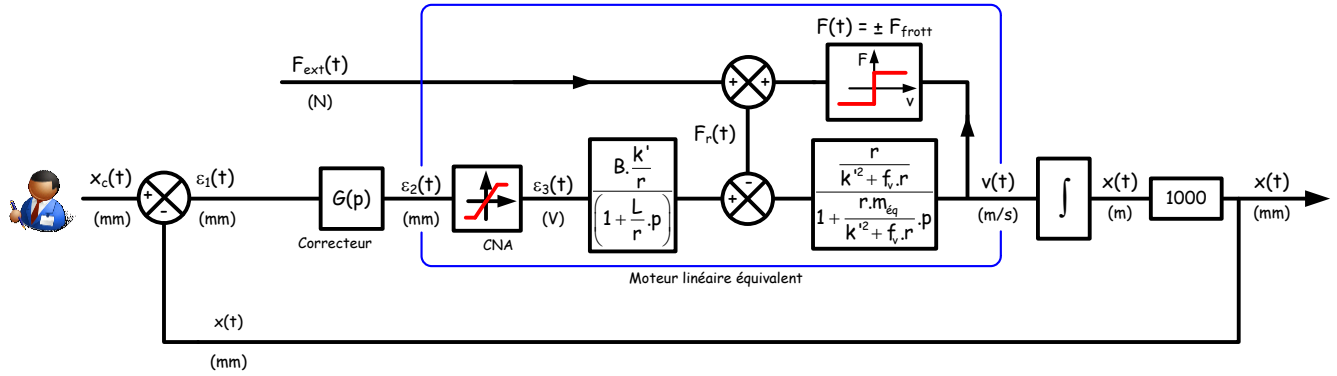


Dans ce modèle, le rayon R devra être renseigné en mm.

Modèle 4 : Bloc amont et bloc aval de la perturbation



ou



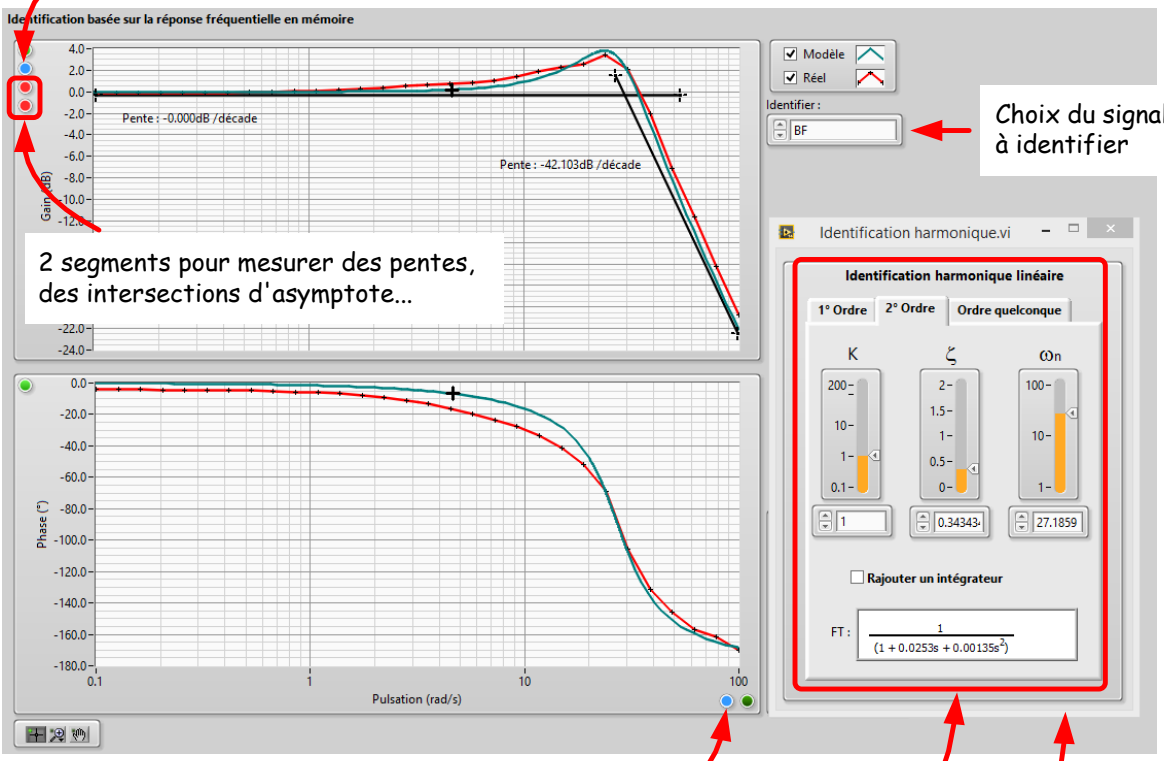
Sous onglet "Identification / Simulation", "Harmonique linéaire"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir à l'onglet "Identification / Simulation"

Il s'agit d'un onglet dans lequel on procède à l'identification d'une réponse harmonique.

Il faut avoir préalablement lancé une campagne de mesure (Onglet "Analyse harmonique") ou charger en mémoire les résultats d'une campagne de mesure (Menu "Analyse harmonique", "Ouvrir un essai fréquentiel").

Echelle en dB ou en décimal
(pour justifier l'intérêt de l'échelle en dB)

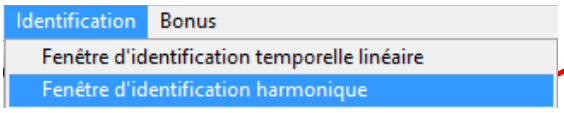


2 segments pour mesurer des pentes, des intersections d'asymptote...

Choix du signal à identifier

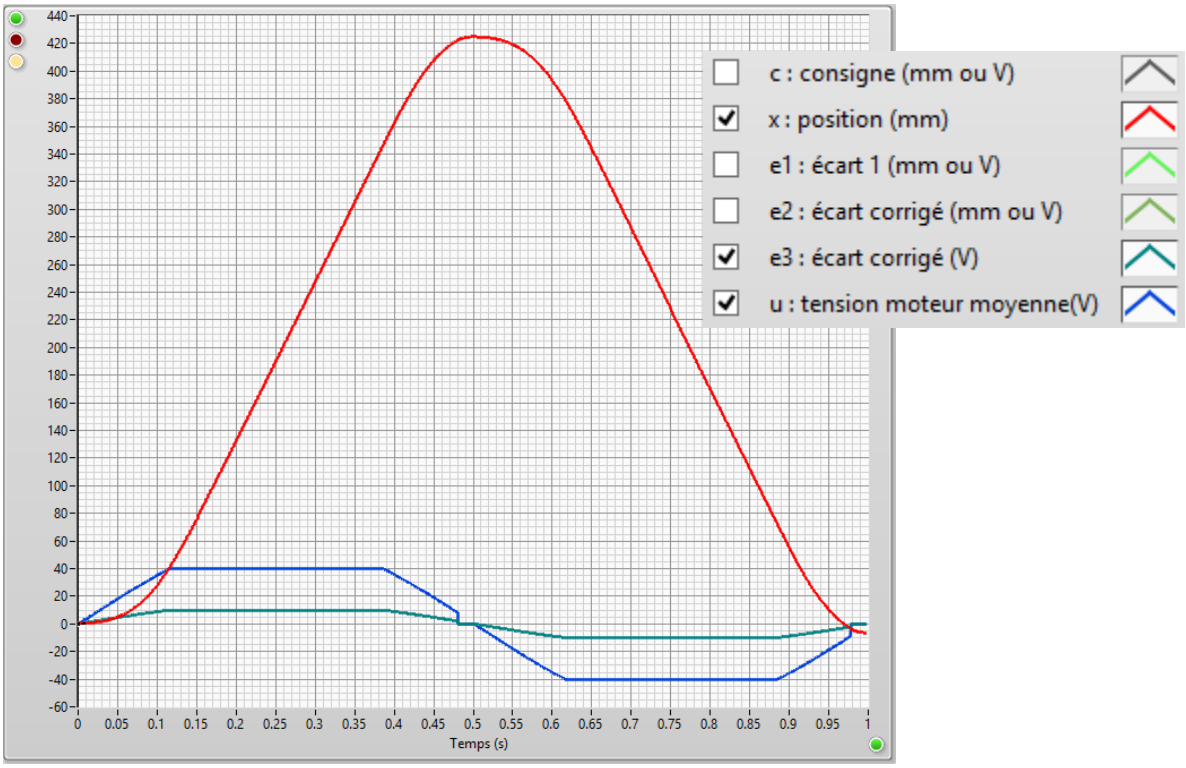
Echelle en log ou en décimal
(pour justifier l'intérêt de l'échelle en log)

Modèle envisagé



Menu "Identification", "Fenêtre d'identification harmonique" si vous avez fermé cette fenêtre

L'identification d'un comportement par un modèle linéaire peut assez rapidement se révéler illusoire si le système subit des phénomènes non linéaires importants. Rappelons que la principale non linéarité est la saturation de la carte de commande à ± 10 V. Il est souvent intéressant de vérifier avant l'identification que la saturation de la carte de commande n'a pas duré trop longtemps ou mieux de lancer un essai avec des paramètres d'amplitude et de fréquence tels que toute saturation soit évitée.



Essai en boucle ouverte : une apparente jolie arche de sinus…mais pourtant
avec une forte saturation du moteur à ± 40 V
(ou de la carte de commande à ± 10 V)

Onglet "Synthèse correcteur"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire

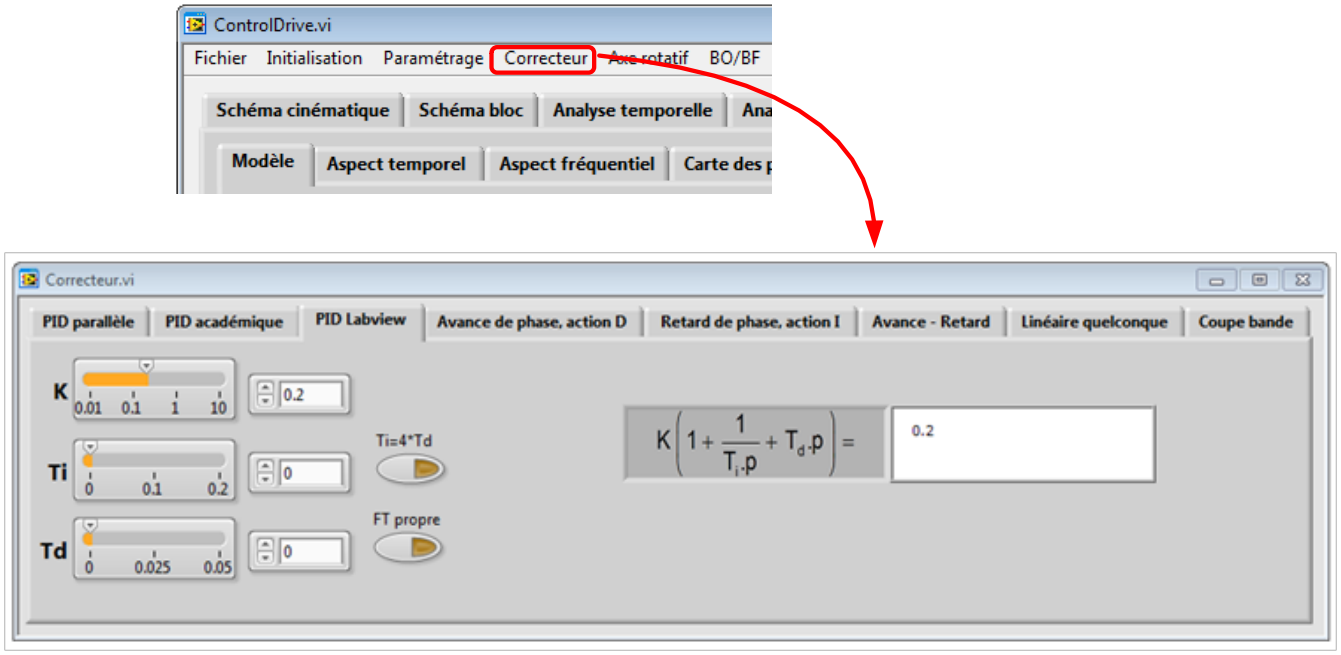
Sous onglets	
Modèle linéaire	page 39
Aspect temporel linéaire	page 42
Aspect fréquentiel linéaire	page 43
Carte des pôles	page 45
Aspect temporel non linéaire	page 47
Autotuning	page 52

Dans cet onglet une tension nulle est envoyée au moteur pour éviter les conséquences d'un calage de correcteur hasardeux. L'asservissement sera à nouveau remis en fonction dès la sortie de cet onglet.

On donne le code couleur utilisé dans tous les sous-onglets de "Synthèse correcteur" :

Rose		Réponse de la boucle fermée non corrigée
Rouge		Réponse de la boucle fermée corrigée
Vert		Boucle ouverte non corrigée (càd avec correcteur unité)
Jaune		Correcteur
Bleu		Boucle ouverte corrigée

Dans tous les tous onglets de "Synthèse correcteur", il est intéressant d'avoir la fenêtre du choix de correcteur à portée de main : Menu "Correcteur"

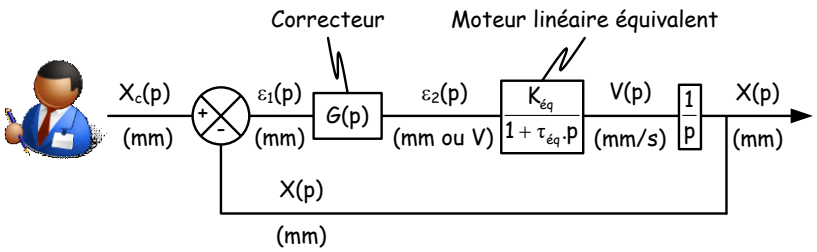

ControlDrive.vi
Fichier
Initialisation
Paramétrage
Correcteur
Axe rotatif
BO/BF
Schéma cinématique
Schéma bloc
Analyse temporelle
Modèle
Aspect temporel
Aspect fréquentiel
Correcteur.vi
PID parallèle
PID académique
PID Labview
Avance de phase, action D
Retard de phase, action I
Avance - Retard
Linéaire quelconque
Coupe bande
K
0.01
0.1
1
10
0.2
Ti
0
0.1
0.2
Ti=4*Td
Td
0.025
0.05
FT propre
$K\left(1+\frac{1}{T_i.p}+T_d.p\right)=$
0.2

Sous onglet "Synthèse correcteur", "Modèle linéaire"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir à l'onglet "Synthèse correcteur"

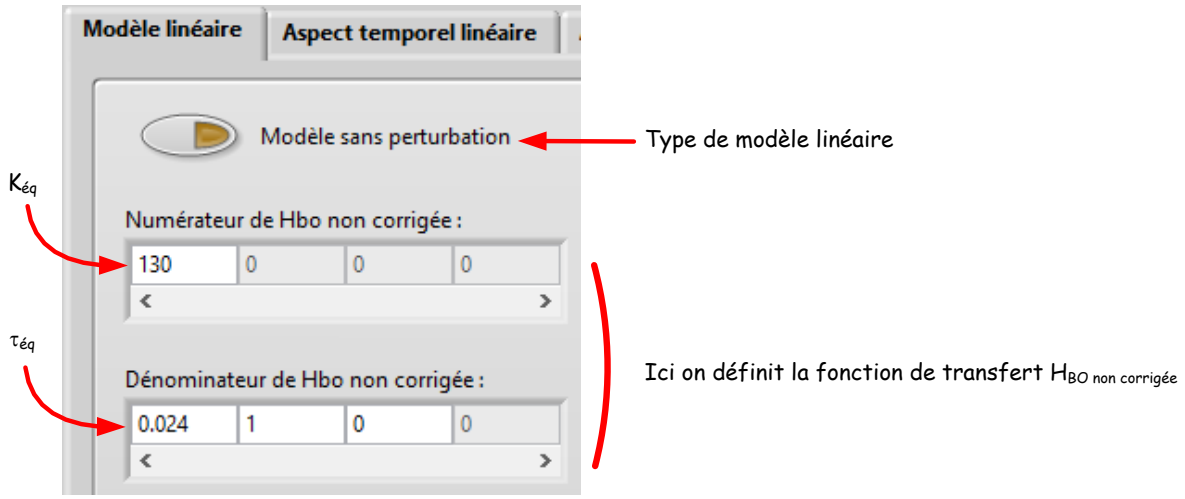
Dans cet onglet il faut définir le modèle de boucle ouverte non corrigée avec ou sans perturbation.

Avec un modèle non perturbé on attend un modèle linéaire du type :

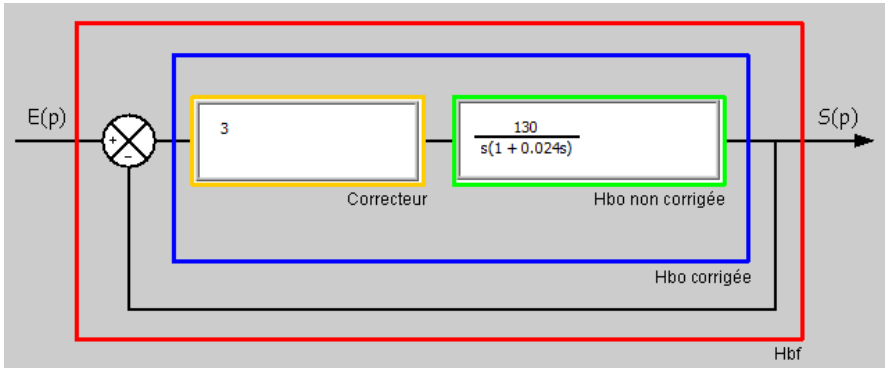


Modèle de moteur du 1° ordre par exemple

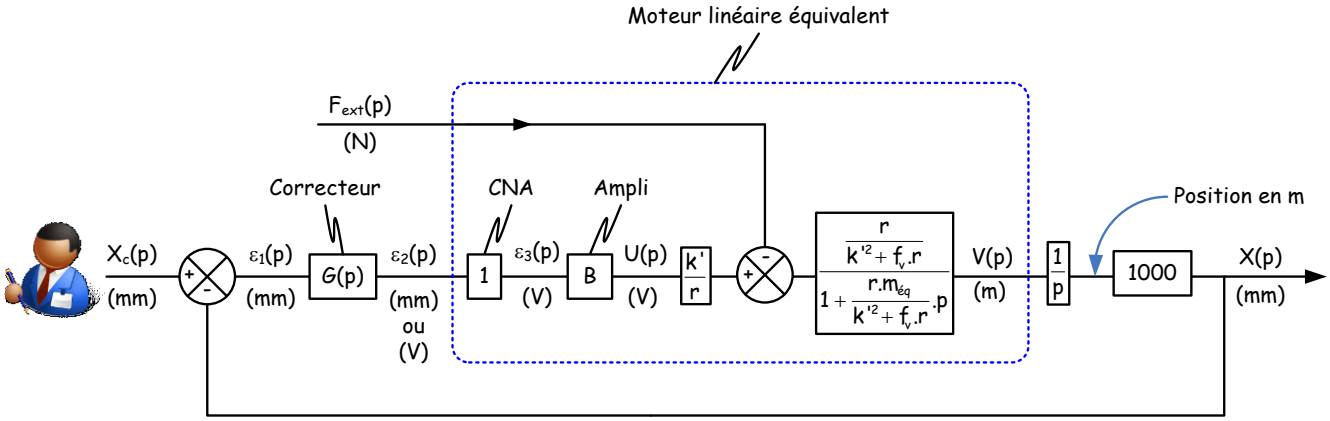
On a alors $H_{bo\ non\ corrigée}(p) = \dfrac{X(p)}{\varepsilon_2(p)} = \dfrac{K_{éq}}{p.\left(1+\tau_{éq}.p\right)}$ et on doit renseigner le numérateur et le dénominateur comme ceci :



Les coefficients sont entrés dans l'ordre des puissances décroissantes. Pensez à utiliser le menu contextuel (bouton droit de la souris).

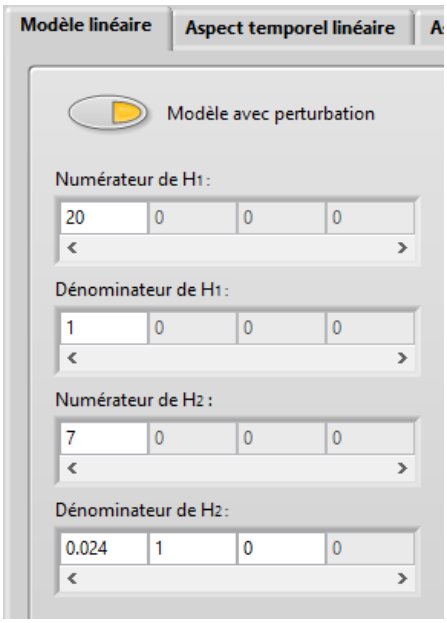


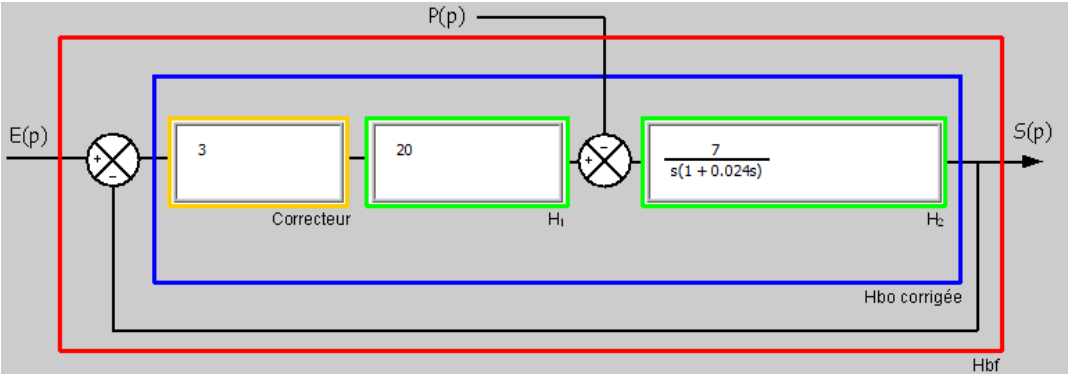
<u>Avec un modèle perturbé on attend un modèle linéaire du type :</u>



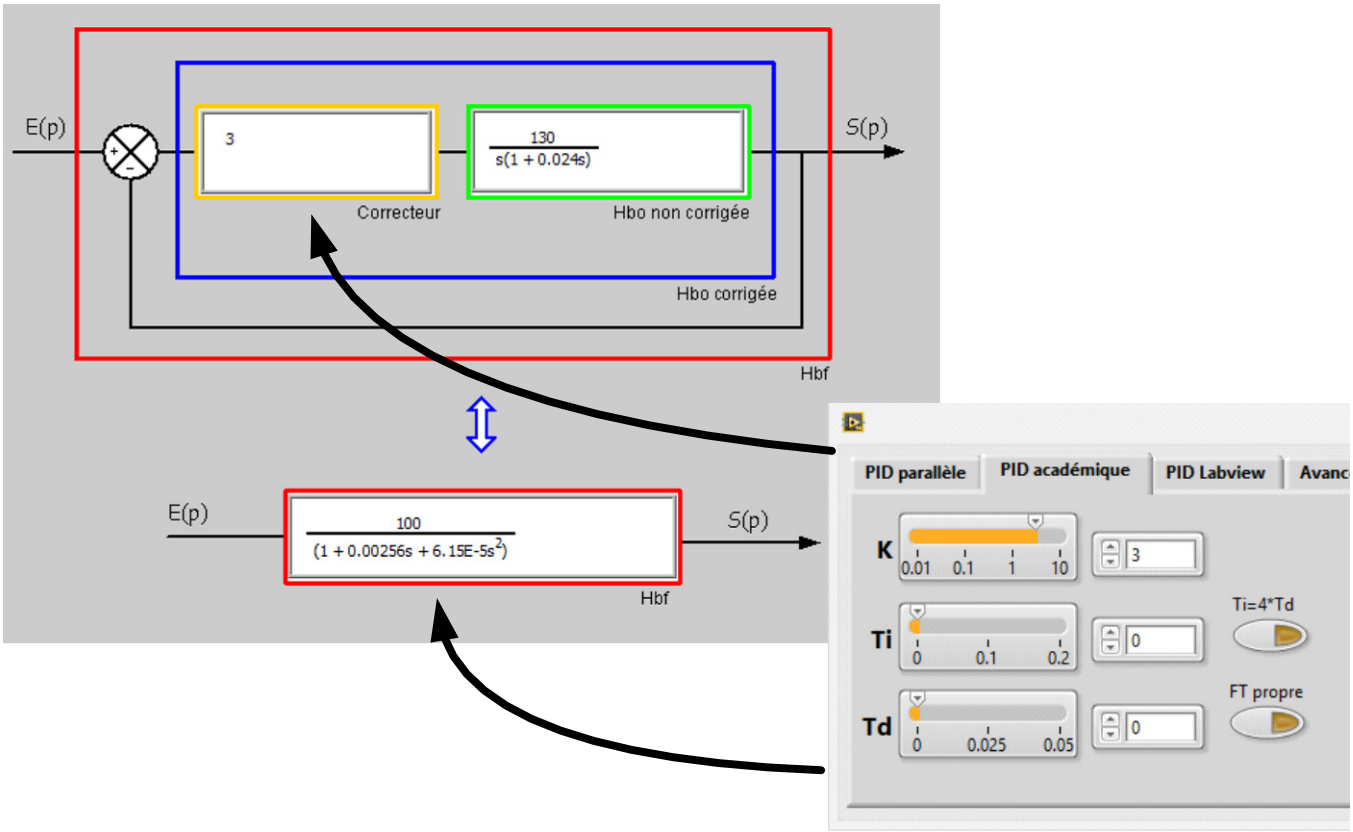
Modèle de moteur avec inductance non prise en compte et frottement visqueux

On a alors $H_1(p) = \frac{B.k'}{r}$ et $H_2(p) = 1000.\frac{\frac{r}{k'^2 + f_v.r}}{\left(1 + \frac{r.m_{éq}}{k'^2 + f_v.r}.p\right).p}$ et il faut renseigner les blocs H_1 et H_2 :





On peut d'ores et déjà modifier le correcteur pour visualiser son effet sur les différentes fonctions de transfert.

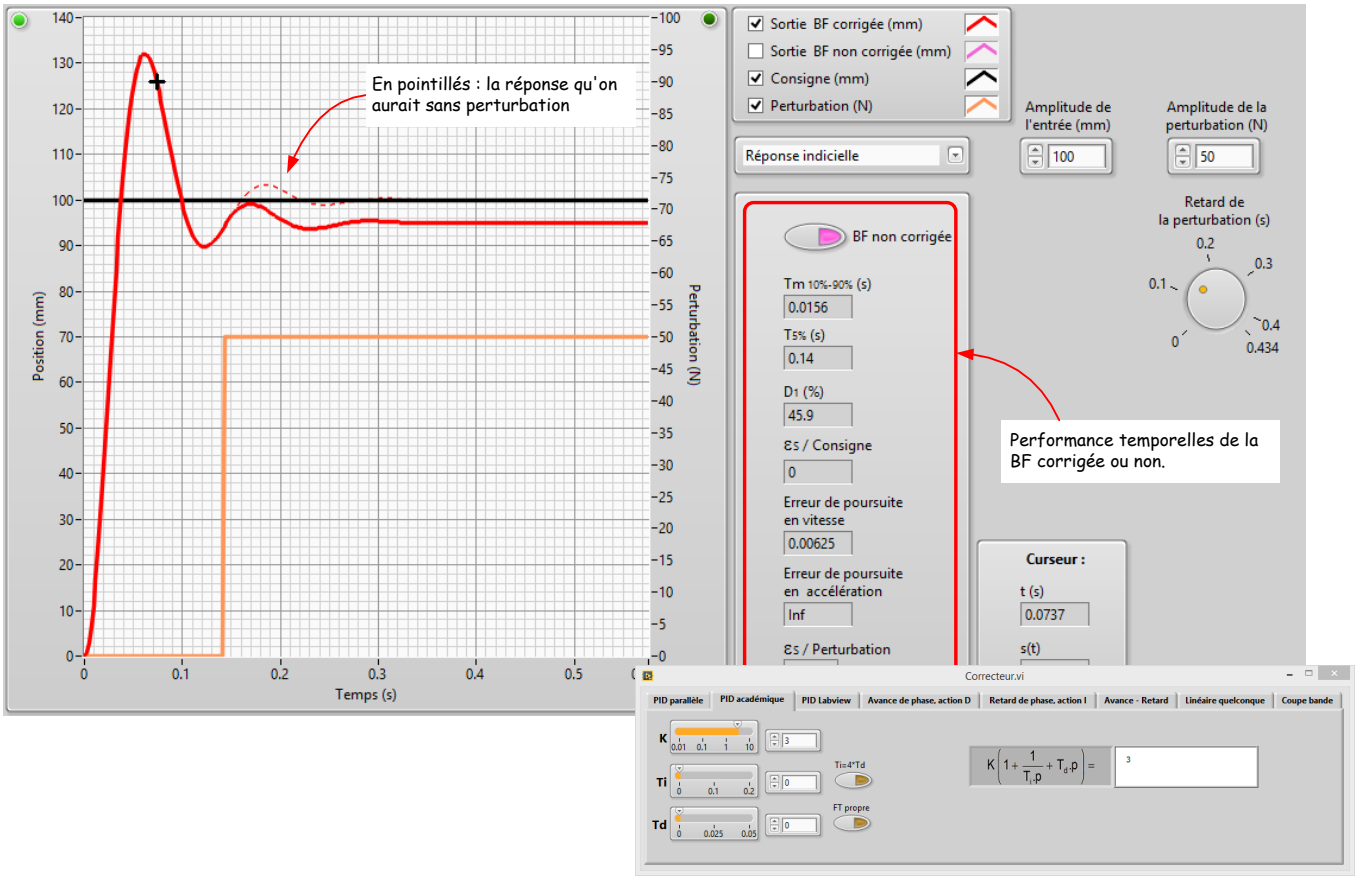


Sous onglet "Synthèse correcteur", "Aspect temporel linéaire"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir à l'onglet "Synthèse correcteur"

On peut observer dans cet onglet la réponse temporelle (indicielle, rampe etc…) du système en boucle fermée corrigée et en boucle fermée non corrigée.

On peut là aussi modifier le correcteur pour visualiser son effet sur les différentes réponses.

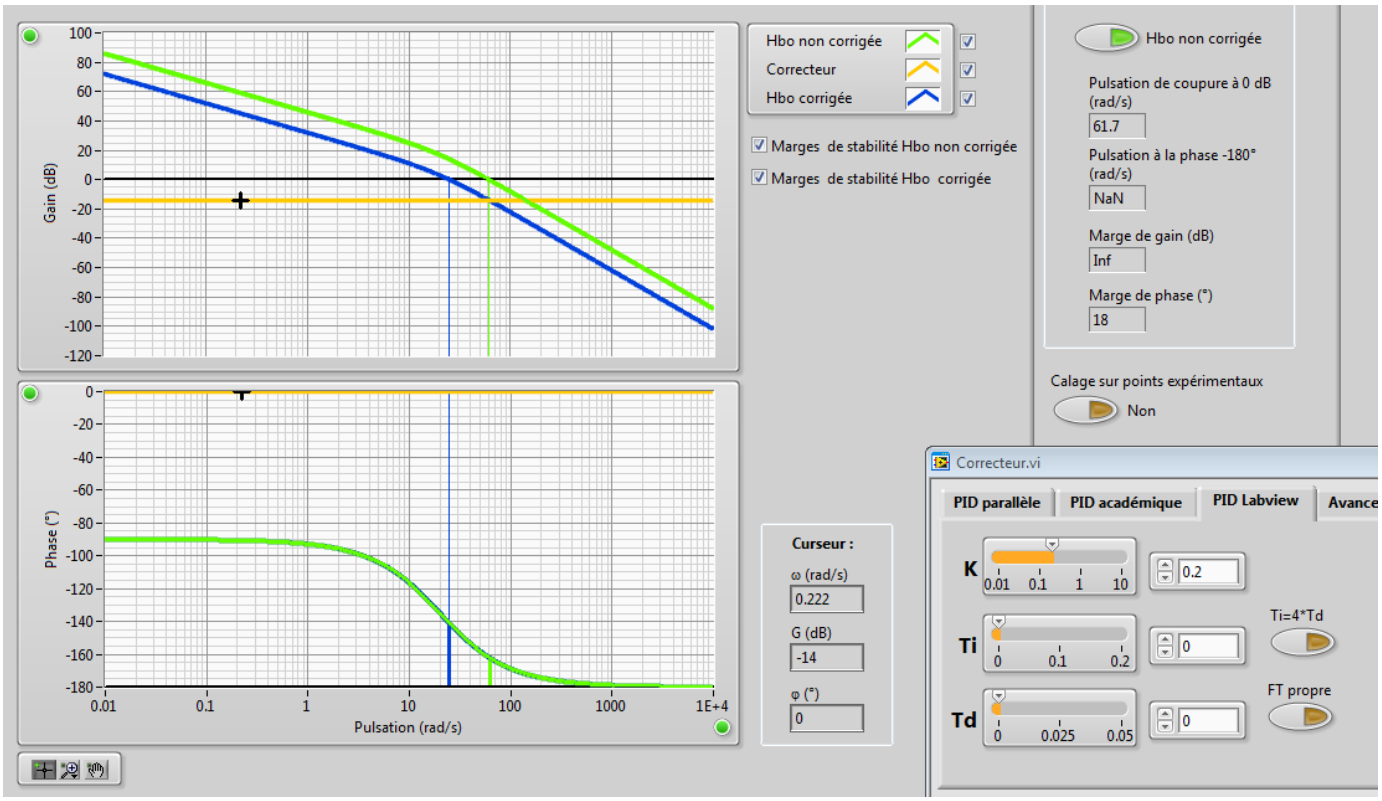


Sous onglet "Synthèse correcteur", "Aspect fréquentiel linéaire"

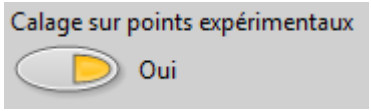
Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir à l'onglet "Synthèse correcteur"

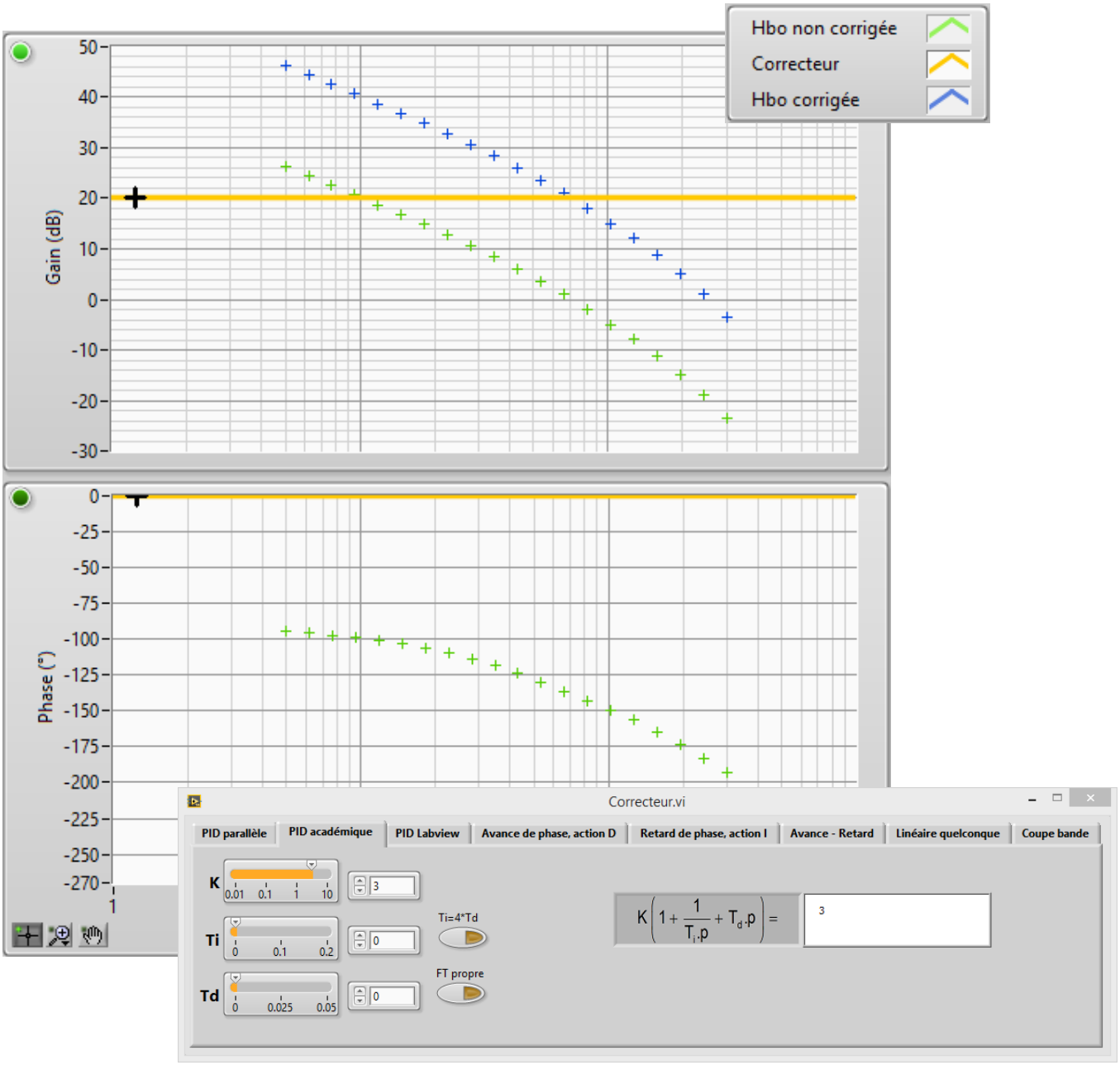
On observe dans cet onglet la réponse harmonique de la boucle ouverte non corrigée, du correcteur et de la boucle ouverte corrigée.

On peut se fixer un cahier des charges dans le domaine fréquentiel et ainsi caler un correcteur grâce à des considérations du type : marge de phase, marge de gain, nombre d'intégrateur de la boucle ouverte, pulsation de coupure à 0 dB.



Si un essai fréquentiel est chargé en mémoire, la commande "Calage sur point expérimentaux" offre des possibilités de calage de correcteur sans même avoir à poser de modèle. Il faut pour cela un essai en boucle ouverte de qualité : large plage de fréquence sans qu'il y ait eu, pour aucune des fréquences de l'essai, de saturation de la carte de commande.





On peut alors choisir le correcteur en lisant la marge de phase, la marge de gain, le gain basse fréquence et la pulsation de coupure à 0 dB.

Sous onglet "Synthèse correcteur", "Carte des pôles"

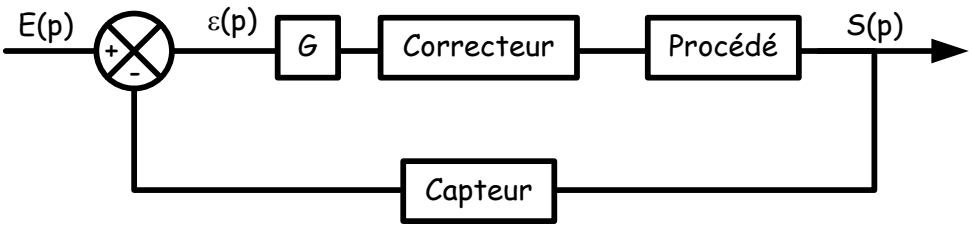
Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir à l'onglet "Synthèse correcteur"

On peut ici observer le lieu des pôles et des zéros de la boucle fermée corrigée et non corrigée.

On peut aussi observer le lieu d'Evans.

Rappel : Lieu d'Evans

Soit le système asservi suivant :



Le lieu d'Evans est le lieu des pôles de la fonction de transfert en boucle fermée lorsque le gain G varie dans l'intervalle [0, +∞[

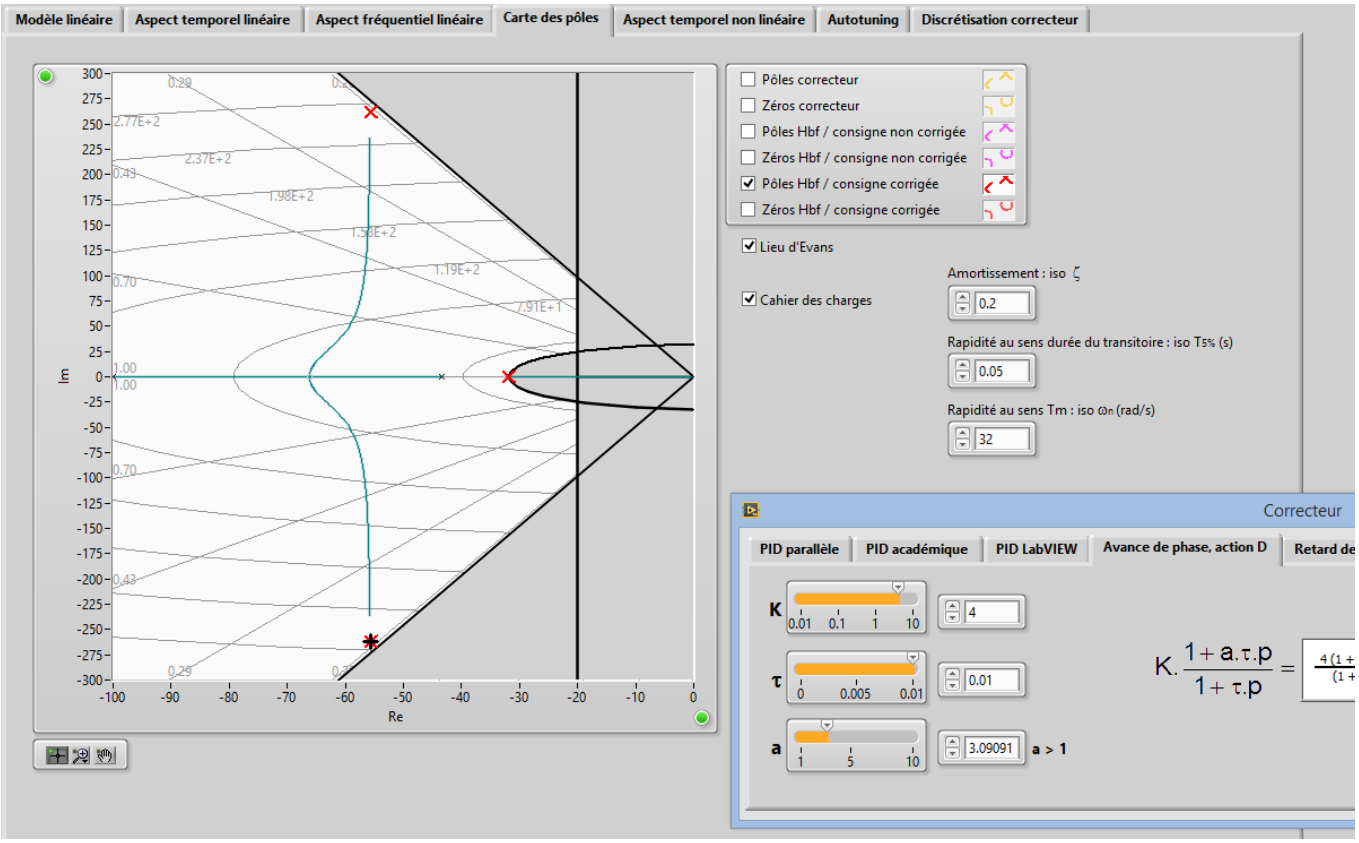
Lorsqu'on utilise par exemple :

- Un correcteur du type $K(1 + \frac{1}{T_i.p} + T_d.p)$: on ne modifie donc pas le lieu d'Evans en modifiant le gain K (K joue le même rôle que G).
- Un correcteur du type $P + \frac{I}{p} + D.p$: on modifie la forme du lieu en modifiant la valeur de P (P ne joue pas le même rôle que G). Le calage du correcteur devient délicat par cette méthode.

Un correcteur de type "PID LabVIEW" ou "PID académique" est ainsi beaucoup plus adapté lorsqu'on cherche à caler un correcteur en utilisant le lieu d'Evans qu'un correcteur "PID parallèle".

Enfin, dans cet onglet, on peut se fixer un cahier des charges dans le domaine du lieu des pôles et ainsi caler un correcteur grâce à des considérations du type : iso ζ, iso ω_n, $T_{5\%}$.

Critère d'amortissement : ζ
Critère mixte rapidité + amortissement : $T_{5\%}$
Critère de rapidité pure (au sens vivacité) : ω_n



Sous onglet "Synthèse correcteur", "Aspect temporel non linéaire"

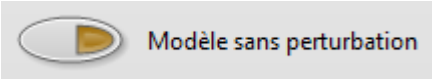
Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir à l'onglet "Synthèse correcteur"

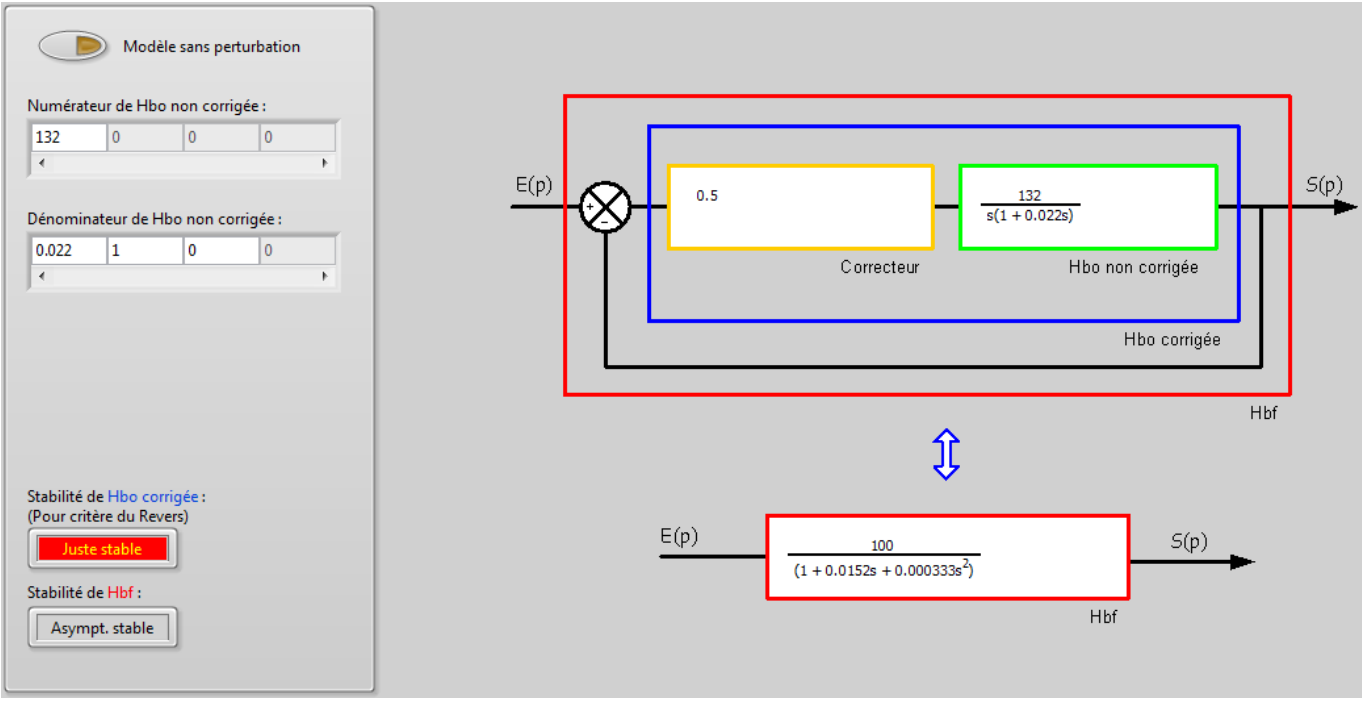
Il s'agit ici d'un modèle non linéaire très simple mais qui cependant reflète très bien le comportement de Control'X, il inclut :

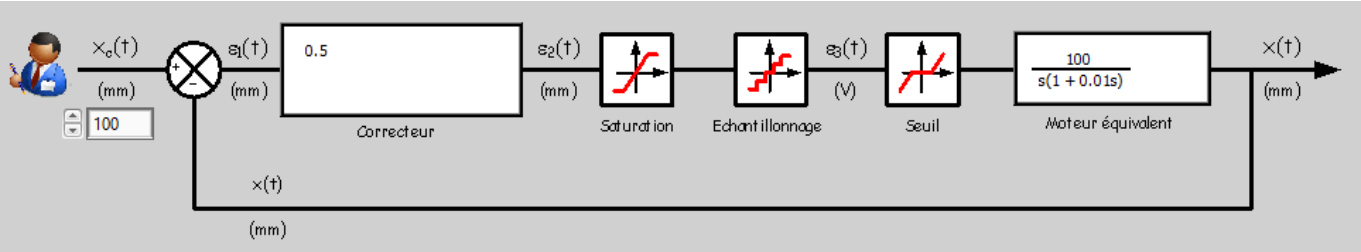
- la saturation de la carte de commande
- l'échantillonnage
- les frottements secs qui sont modélisés par une tension de seuil (voir le fichier "Eléments de modélisation" pour de plus amples détails sur la justification de ce type de modèle).

Il faut cliquer sur chacun des blocs pour définir ses caractéristiques.
Le modèle étant non linéaire, le comportement dépend de l'amplitude de l'entrée.

Modèle sans perturbation :

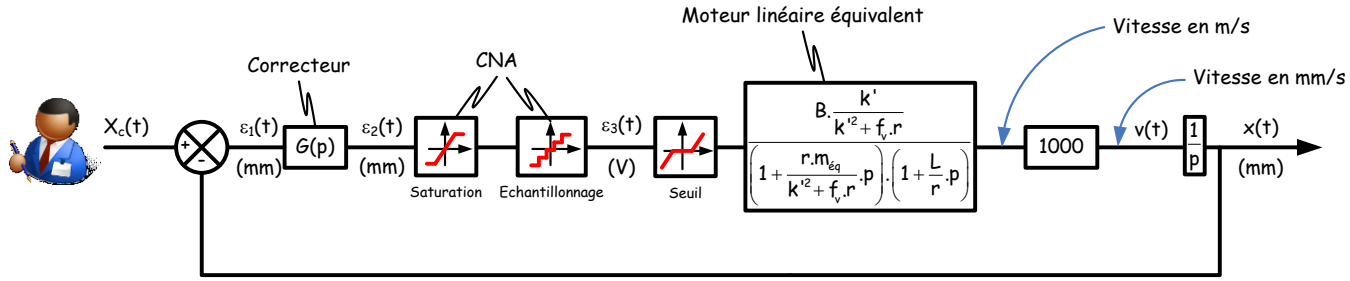




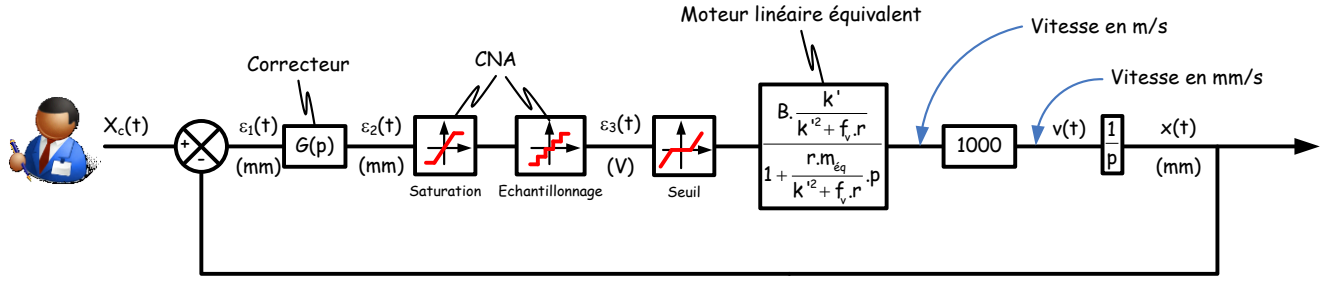


Modèle non linéaire associé au modèle linéaire sans perturbation
(Les perturbations de type frottement secs sont modélisées par la tension de seuil u_{seuil} = 1.5 V)

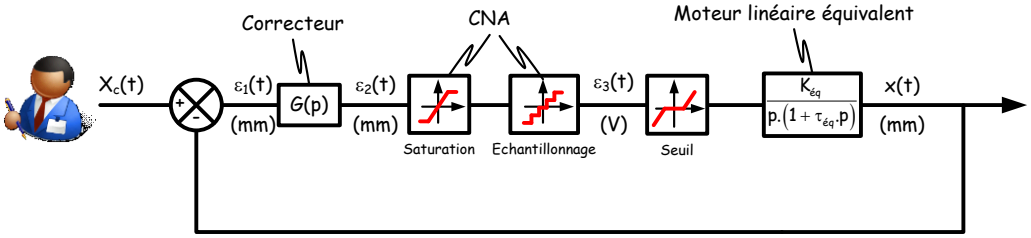
Dans cet onglet on attend un modèle par exemple du type :



ou



ou

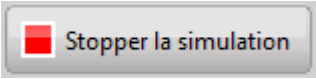


Les simulations sont lancées en boucle pour permettre des modifications à la volée des différents paramètres.

Dans tous les cas, la durée de simulation est limitée à 5 secondes.

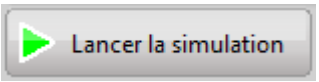
Le solveur est un solveur à pas fixe de type Runge-Kutta.

Selon les valeurs numériques entrées (notamment des valeurs très éloignées de l'ordre de grandeur attendu) la simulation peut être longue et l'interaction avec l'utilisateur est alors dégradée. On peut alors mettre fin à la simulation en cours en cliquant sur l'icône :

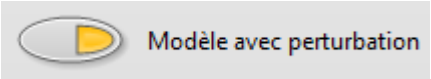


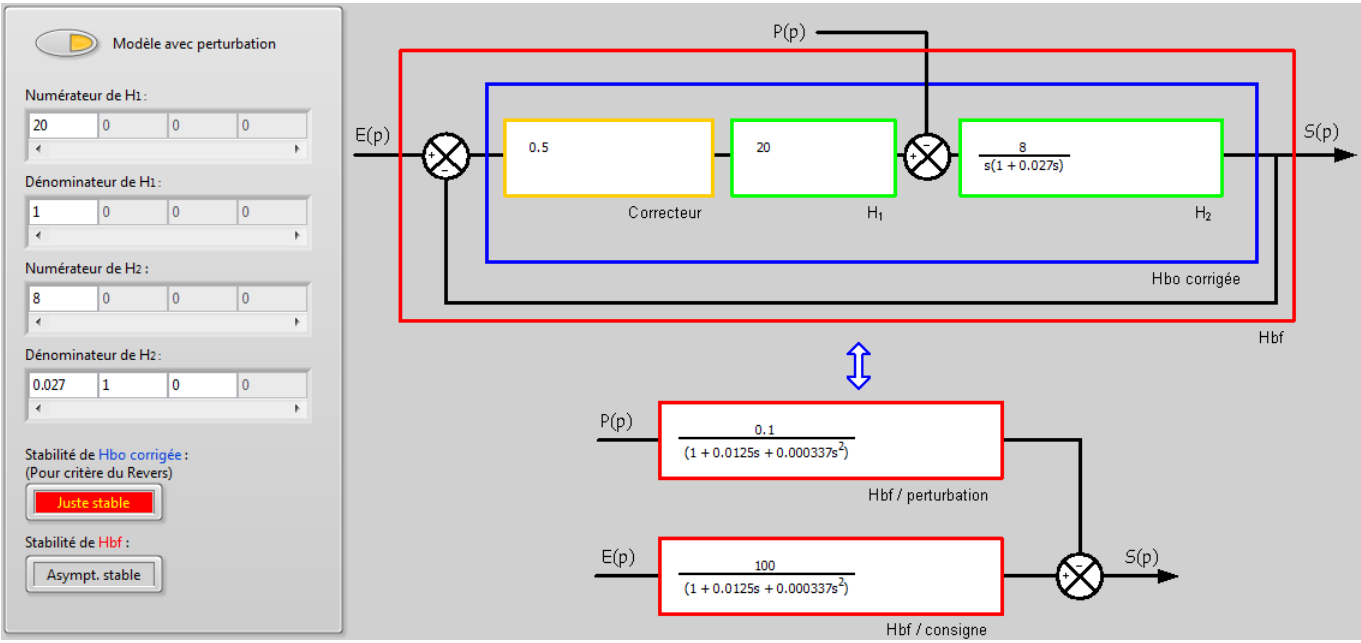
La simulation est aussi stoppée automatiquement lorsque le solveur rencontre une erreur : certaines fonctions de transfert non causales par exemple.

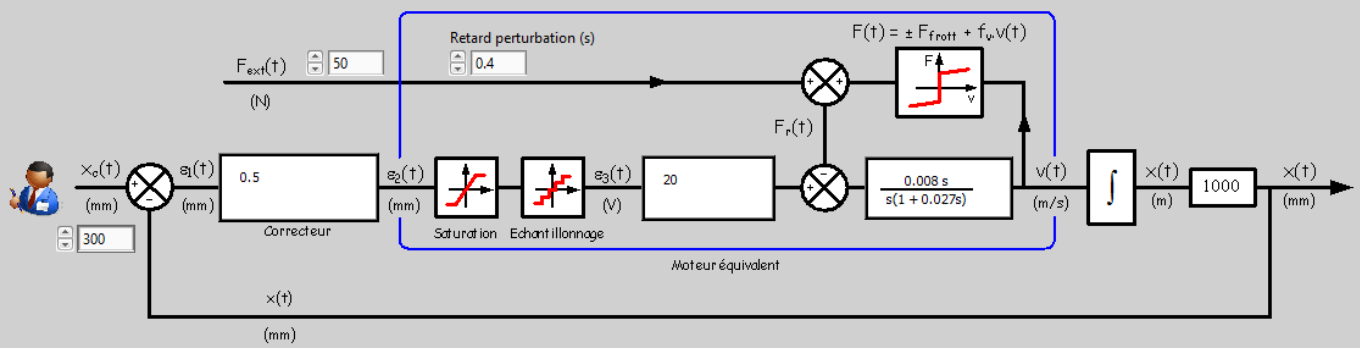
Une fois la simulation stoppée, il faut certainement revoir l'ordre de grandeur de certains paramètres ou rendre causales certaines fonctions de transfert puis relancer la simulation :



Modèle avec perturbation :

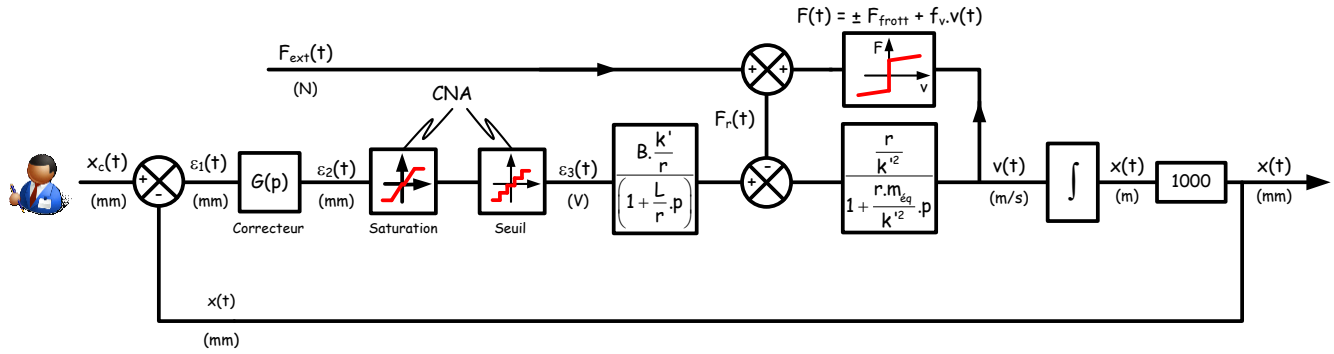






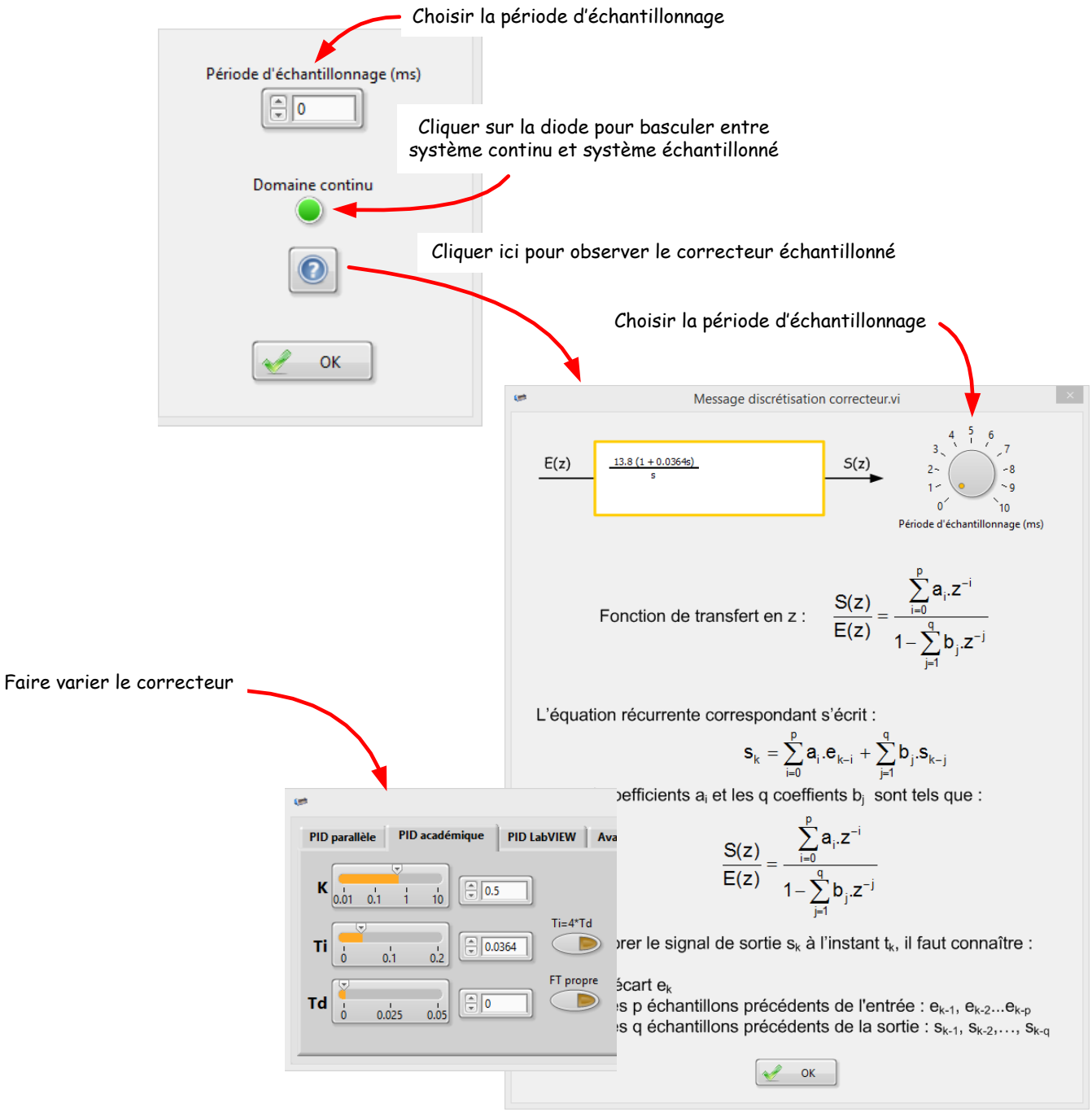
Modèle non linéaire associé au modèle linéaire avec perturbation

Dans cet onglet on attend un modèle par exemple du type :



A propos du réglage de la période d'échantillonnage :

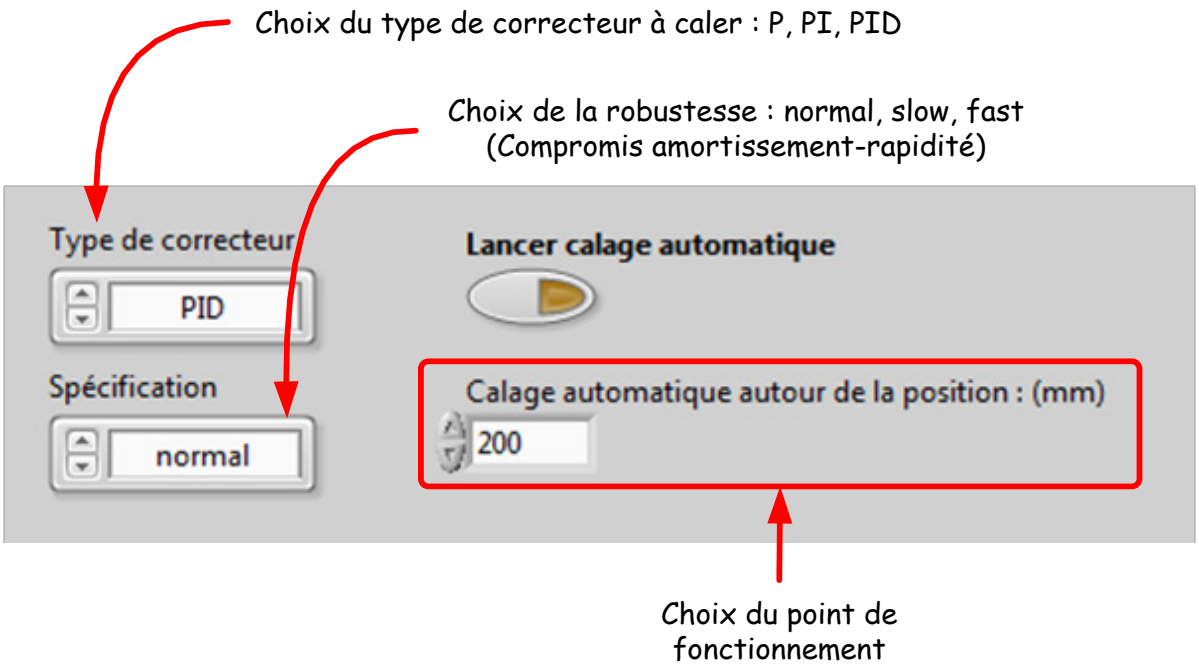
Une fenêtre d'aide peut être utilisée pour expliquer quelques propriétés des systèmes échantillonnés

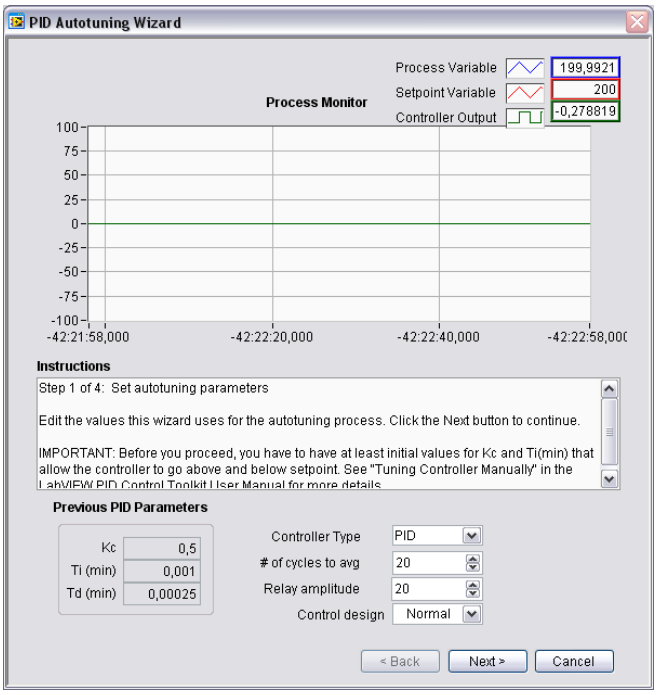
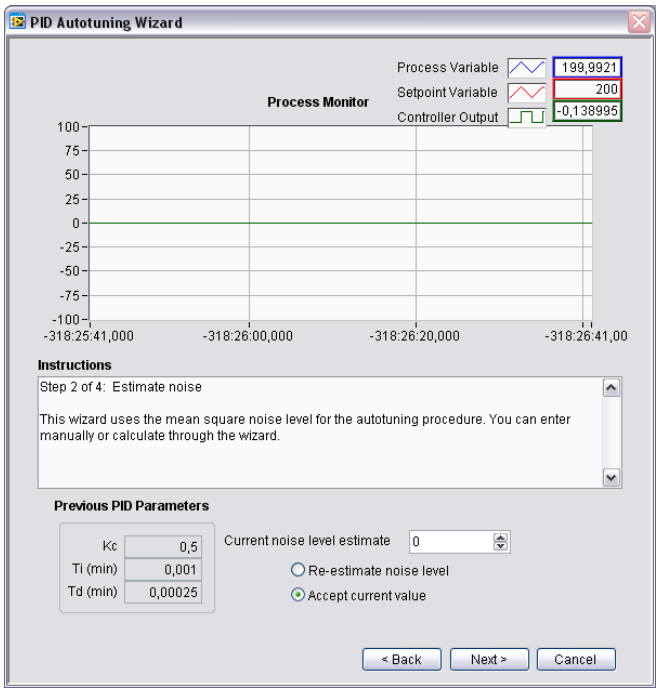


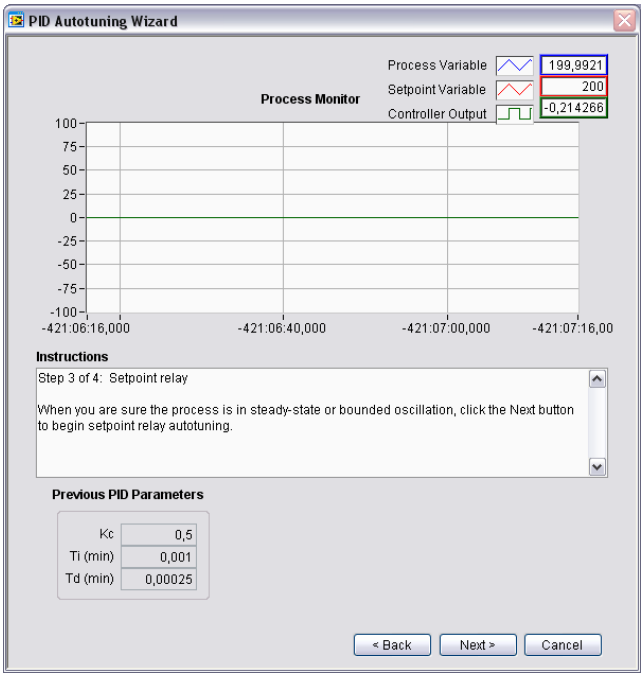
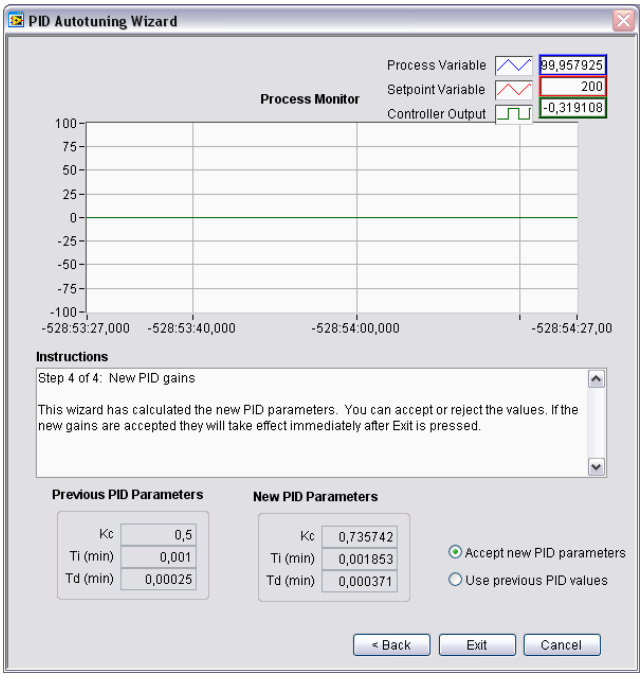
Sous onglet "Synthèse correcteur", "Autotuning"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir à l'onglet "Synthèse correcteur"

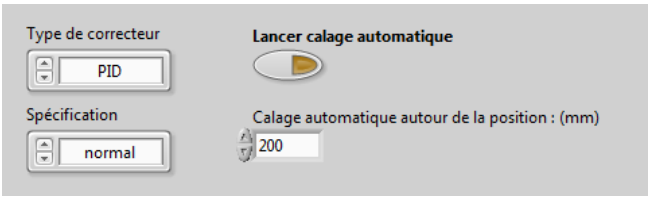
Cet onglet permet de caler un correcteur automatiquement. La méthode utilisée consiste à exciter le système en boucle fermée par des entrées rectangulaires et à appliquer un algorithme de Ziegler et Nichols pour déterminer les paramètres du correcteur. Voir la documentation LabVIEW "PID toolkit User Manual.pdf" dans "…\Control'X\Dossier ressources\Doc Labview".

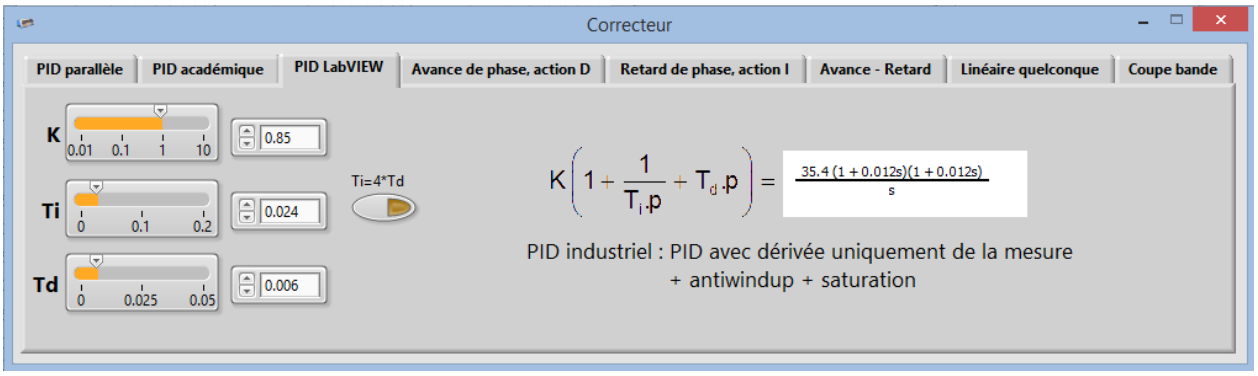


Etape 1 : définition des paramètres de l'essai	**Etape 2 :** mesure du bruit de mesure
Les paramètres définis par défaut sont généralement satisfaisants : gain du correcteur, nb de cycles d'excitation, amplitude du cycle (Relay amplitude). **L'amplitude d'excitation doit être telle que compte tenu du gain du correcteur, il n'y ait pas saturation (à ±10V).**	Compte tenu du capteur utilisé (codeur incrémental), le bruit de mesure mesuré est nul : Cliquer sur "Accept current value"
	

Etape 3 : autotuning	**Etape 4 :** résultats de l'autotuning Si vous cliquez sur "Accept new PID parameters" les gains vont être transférés vers le correcteur "PID LabView" de Control'Drive.
	

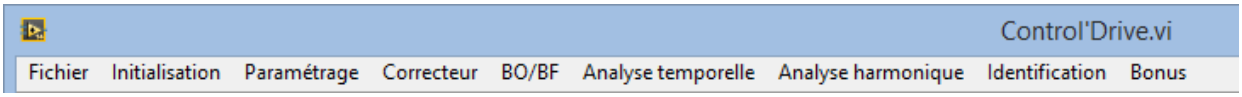
Si vous acceptez les nouveaux paramètres, les gains du correcteur seront automatiquement transférés vers le correcteur "PID LabVIEW" : la fenêtre de ce correcteur s'ouvre.





Menus

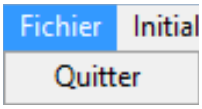
Ctrl + clic pour revenir au sommaire



Menus	
Fichier	page 56
Initialisation	page 57
Paramétrage	page 59
Correcteur	page 71
BO/BF	page 79
Analyse temporelle	page 80
Analyse harmonique	page 94
Identification/Simulation	page 98
Bonus	page 101

Menu "Fichier"

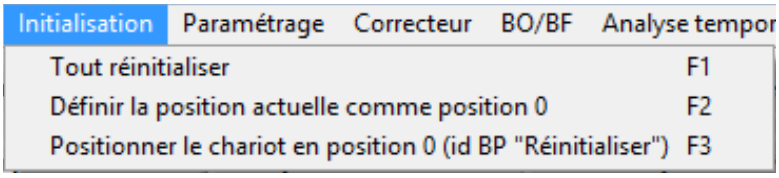
Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir aux menus



Quitter : pour quitter Control'Drive. Ne sauve aucun résultat.

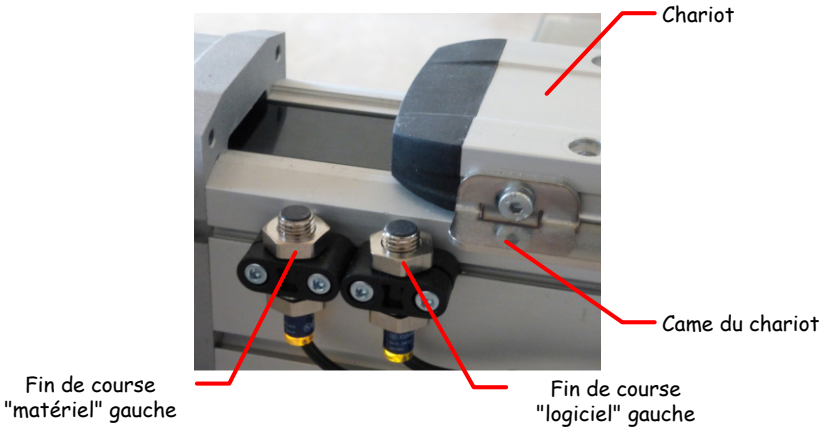
Menu "Initialisation"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir aux menus

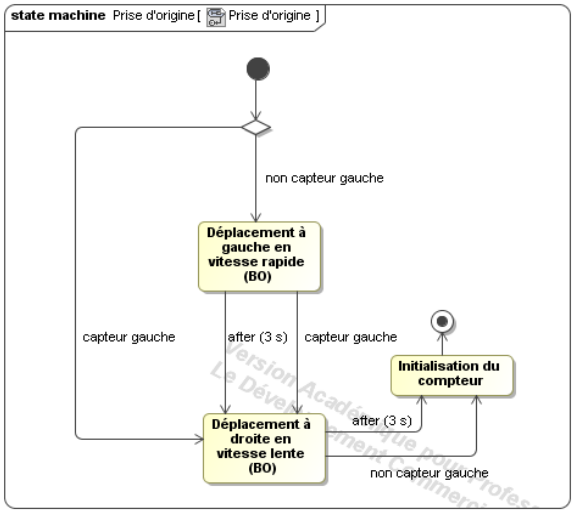


Menu "Tout réinitialiser"

Permet d'effectuer une réinitialisation sur le capteur de fin de course logiciel gauche. Cette réinitialisation est identique à celle qui est effectuée au lancement de Control'Drive.
La fenêtre de Control'Drive doit avoir le focus (fenêtre active) pour que le raccourci F1 soit actif



Cette réinitialisation est faite selon l'algorithme ci-dessous :



Menu " Définir la position actuelle comme position 0"

Permet d'effectuer un 0 relatif à partir de la position actuelle.

La fenêtre de Control'Drive doit avoir le focus (fenêtre active) pour que le raccourci F2 soit actif

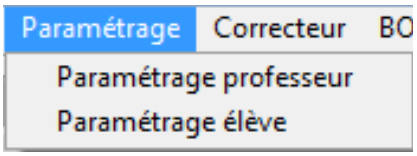
Menu " Positionner le chariot en position 0"

Permet de revenir au 0 relatif avec un pilotage en boucle fermée reposant sur un correcteur bien calé.

La fenêtre de Control'Drive doit avoir le focus (fenêtre active) pour que le raccourci F3 soit actif.

Menu "Paramétrage"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir aux menus



Menu "Paramétrage professeur"

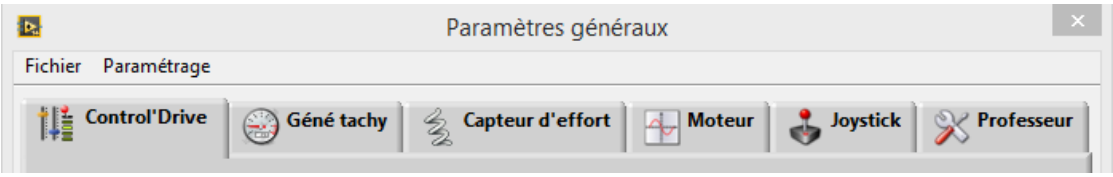
Permet d'accéder à la fenêtre de paramétrage avec tous les droits. Par défaut le mot de passe est vierge.
Dans ce mode, tous les paramètres du menu sont modifiables et le fichier de configuration est accessible en lecture et écriture. Les nouveaux paramètres peuvent donc écraser les anciens définitivement.

Menu "Paramétrage élève"

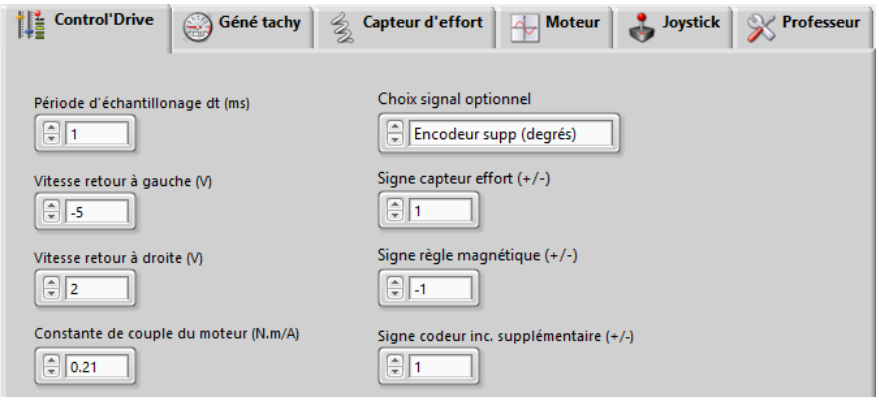
Permet d'accéder à la fenêtre de paramétrage avec des droits restreints. Dans ce mode notamment, le fichier de configuration est accessible en lecture uniquement.

Fenêtre "Paramètres généraux"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir aux menus



Onglet "Control'Drive"



- **Période d'échantillonnage :**

La valeur mini est de 1 ms. On peut modifier cette valeur pour mettre en évidence l'effet de l'échantillonnage sur les performances de l'asservissement (dégradation de l'amortissement voire instabilité notamment).

- **Vitesse de retour à gauche (V) :**

Utilisé pendant la phase de réinitialisation sur le capteur de fin de course "logicielle" gauche.

- **Vitesse de retour à droite (V) :**

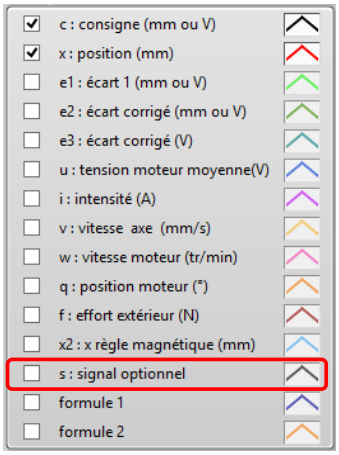
Utilisé pendant la phase de réinitialisation sur le capteur de fin de course "logicielle" gauche.

- **Constante de couple :**

Utilisée pour l'affichage du couple moteur dans certains onglets et du couple moteur ramenée sur le chariot (force motrice).

- **Choix signal optionnel :**

Permet d'affecter l'un des trois signaux suivants au signal nommé "signal optionnel" dans l'onglet "Analyse temporelle" de Control'Drive.



➢ Codeur incrémental supplémentaire

Voie	N° de PIN carte NI	Voie NI	Fonction alternative NI	Indice Matlab-Simulink	Attribution	Observations
P1.5	6	5	CTR3-A	14	Canal A codeur supp.	Option
P1.6	5	6	CTR3-Z	15	Canal Z codeur supp.	Option

L'information est renvoyée en degrés.

Nota : Le croisement des n° de PIN 5 et 6 et des vois NI 6 et 5 n'est pas une erreur !

➢ Accéléromètre x

Voie	N° de PIN carte NI	Voie NI	Indice Matlab-Simulink	Attribution	Observations
AI14	58	14	15	Accéléromètre X	Option

L'information est renvoyée en volts.

➢ Capteur de distance infrarouge Sharp

Voie	N° de PIN carte NI	Voie NI	Indice Matlab-Simulink	Attribution	Observations
AI6	25	6	7	Capteur IR Scharp	Option

L'information est renvoyée en volts.

Les trois signaux sont enregistrés comme tous les autres lors d'un essai temporel en boucle ouverte ou fermée mais seul l'un des trois est observable sous Control'Drive à un instant donné.

Le choix du signal optionnel dans la fenêtre de paramétrage est pris en compte immédiatement.

Après un essai temporel, la modification du champ "Choix signal optionnel" permet éventuellement d'observer tour à tour les trois signaux optionnels.

- **Signe capteur d'effort :**

Permet d'ajuster rapidement le signe de l'effort extérieur mesuré sans avoir à ajuster les réglages de gain et d'offset du capteur d'effort. Dans son utilisation courante, ce signe doit être réglé de telle façon que l'effort mesuré soit positif lorsque un effort vers la gauche est exercé sur le capteur d'effort.

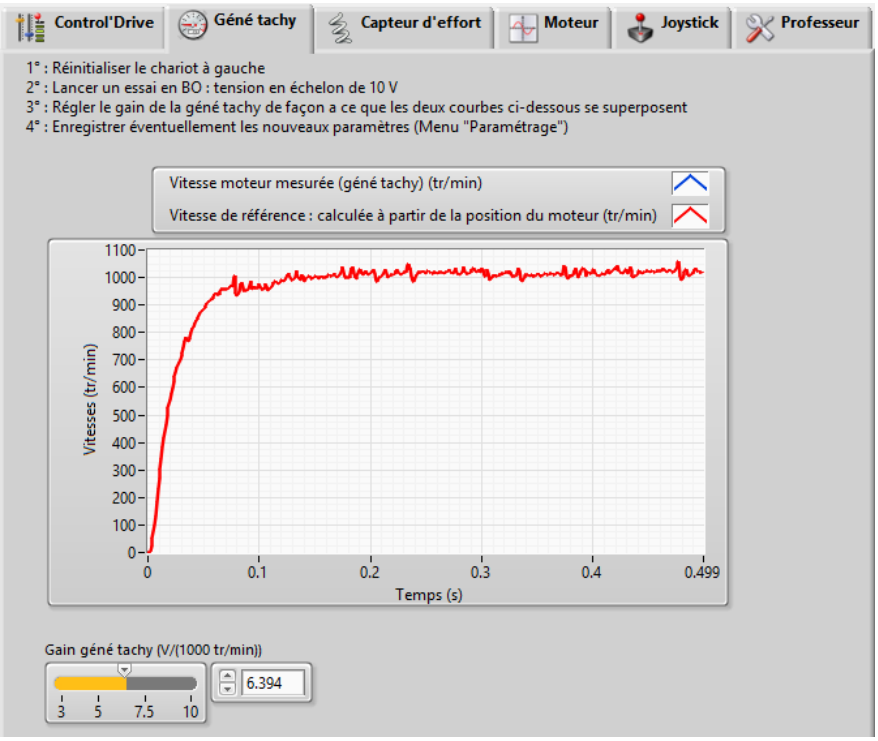
- **Signe règle magnétique :**

Permet d'ajuster rapidement le signe de la position mesurée par la règle magnétique. Dans son utilisation courante, ce signe doit être réglé de telle façon que les positions issues du codeur moteur et de la règle magnétique soient de même signe.

- **Signe codeur inc. supplémentaire :**

Permet d'ajuster rapidement le signe du codeur incrémental optionnel supplémentaire.

Onglet "Géné tachy"

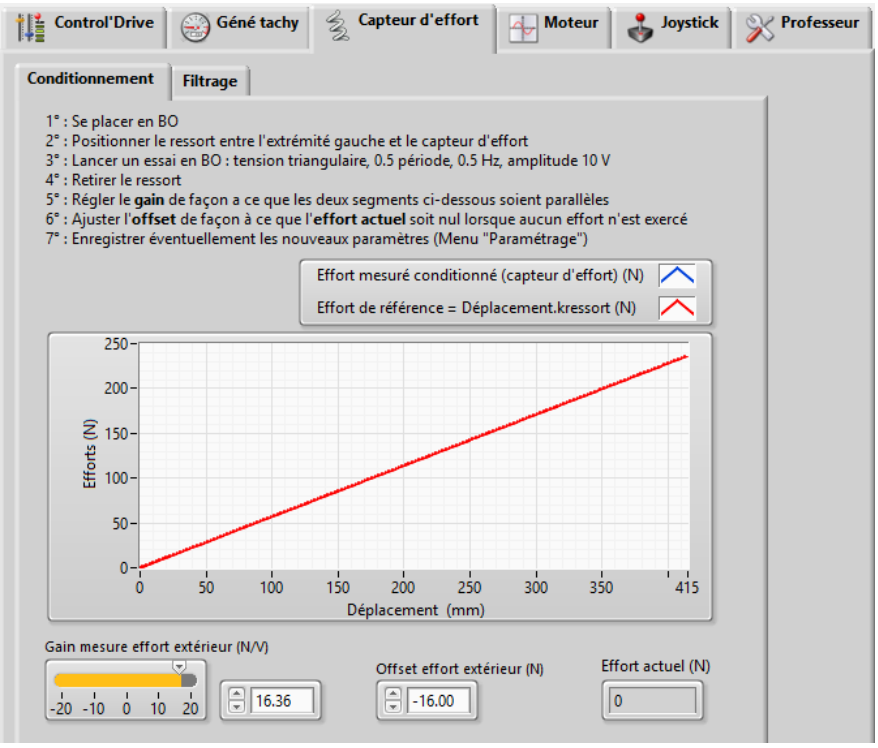


Le gain de la génératrice tachymétrique est annoncé par le constructeur SANYO comme valant 7 V / (1000 tr/min) ± 10 %.

La génératrice a un comportement linéaire et bien sûr son offset est nul : génératrice à l'arrêt, la tension délivrée est nulle. Seul son gain est à régler, c'est ce que permet de faire cet onglet.

Le signal de référence servant à calibrer le gain de la génératrice tachymétrique est le signal de vitesse angulaire de l'arbre moteur élaboré par dérivation discrète de la position angulaire issue du codeur incrémental monté dans l'axe du moteur.

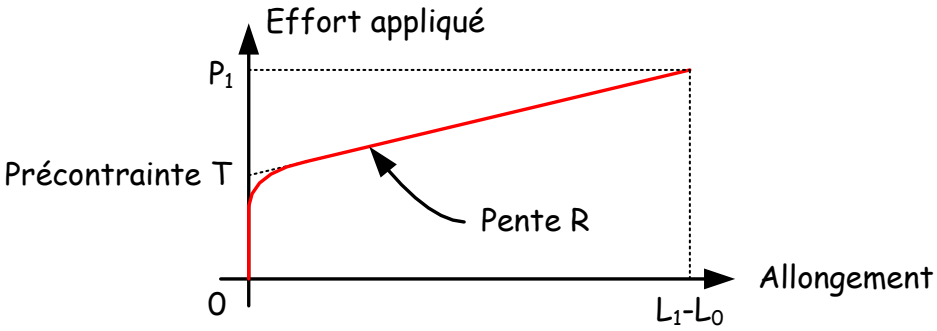
Onglet "Capteur d'effort"



Le capteur d'effort a un comportement linéaire. Il est nécessaire de régler son gain et son offset.

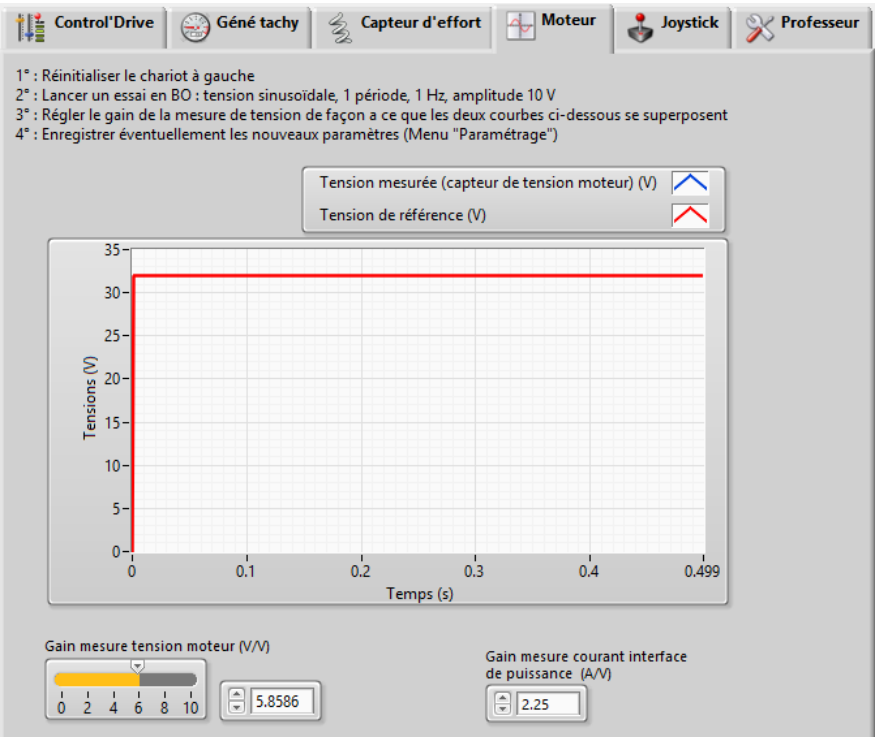
Le signal de référence servant à calibrer le gain du capteur d'effort est le ressort dont la raideur est supposée être connue. De la précision de cette raideur va dépendre la précision du gain du capteur d'effort.

On présente ci-dessous les caractéristiques du ressort :



Caractéristique	Symbole	Unité	Valeur	Observations
Longueur libre	L_0	mm	290	
Longueur de l'extension maximum	L_1	mm	465	Avant déformation plastique
Charge à L_1	P_1	N	117.45	
Tension initiale	T	N	17.85	Le ressort est à spires jointives, il est légèrement précontraint
Raideur	R	N/mm	0.57	

Onglet "Moteur"



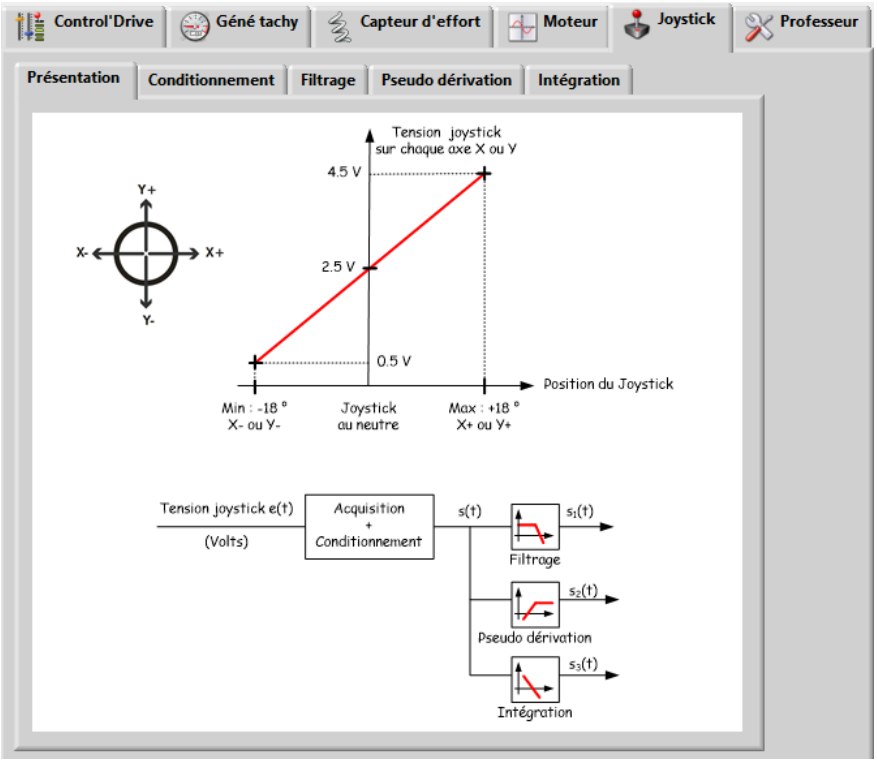
Le variateur de vitesse est réglé (numériquement) en gain pur de valeur 4 : $u_{moyenne}(t) = 4.\varepsilon_3(t)$.

La tension moteur moyenne est donc censée valoir 4 fois la tension en sortie de carte de commande. Sur la carte de conditionnement de signaux, un montage électronique permet d'élaborer un signal dans la gamme [-10V, 10V] proportionnel à la tension moteur moyenne qui se trouve elle dans la gamme [-40V, 40V].

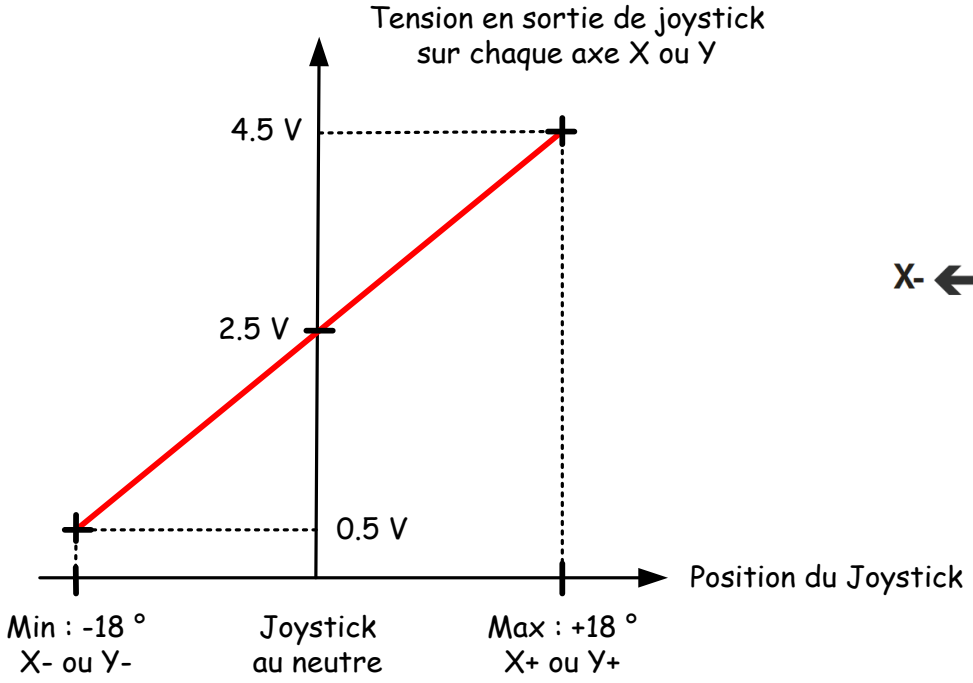
Le signal de référence permettant le réglage du gain de mesure de la tension moyenne est donc la tension $\varepsilon_3(t)$

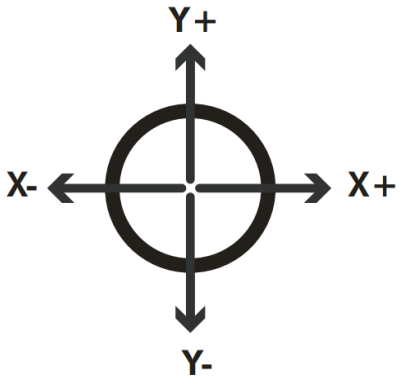
Le variateur de vitesse permet aussi de mesurer le courant moteur. Ce dernier fournit une tension proportionnelle à l'intensité moteur. Le réglage (numérique) effectué est de 4 V pour 9 A soit un gain de 2.25 V / A. Cette valeur est à priori indéréglable.

Onglet "Joystick"

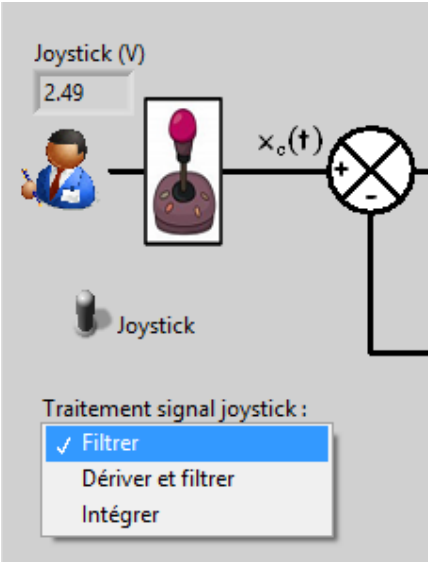


Le joystick utilisé est un joystick 2 axes sans contact à technologie à effet Hall. Son comportement se rapproche toutefois d'un simple joystick à potentiomètre alimenté en 0, +5V.

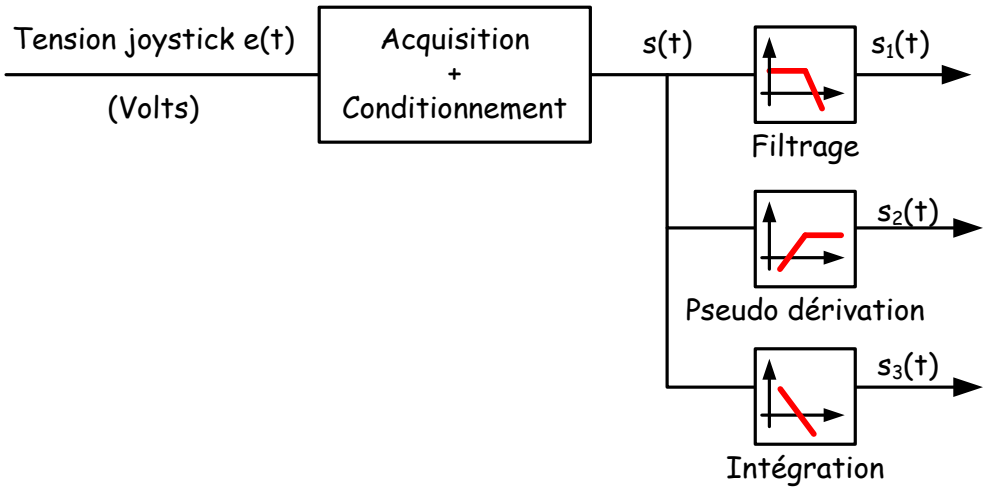

Tension en sortie de joystick
sur chaque axe X ou Y
4.5 V
2.5 V
0.5 V
Position du Joystick
Min : -18 °
X- ou Y-
Joystick
au neutre
Max : +18 °
X+ ou Y+


Y+
X-
X+
Y-

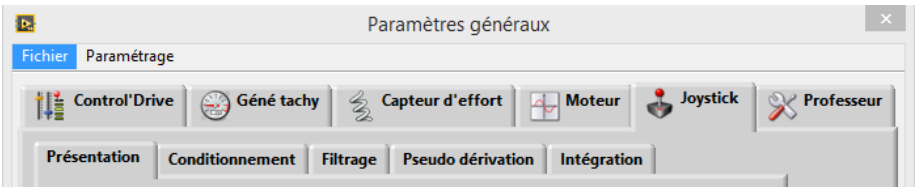
Le joystick est utilisé dans le menu "Schéma bloc" de Control'Drive :



Le signal e(t) issu du joystick subit un conditionnement puis un post-traitement à choisir parmi : filtrage, pseudo dérivation ou intégration.



Les sous onglets de l'onglet "joystick" permettent de définir les différents paramètres associés au conditionnement et aux post-traitements possibles :



Onglet "Professeur"

- **Mot de passe professeur :**

Ce champ est accessible seulement en mode "professeur". Par défaut, il n'y a pas de mot de passe. Si le mot de passe venait à être perdu, il peut être retrouvé en ouvrant le fichier texte "config.txt" qui se trouve dans le répertoire contenant l'application Control'Drive, sous répertoire "data".

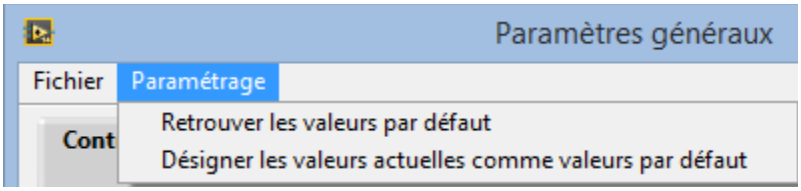
- **Onglets visibles :**

Ces cases à cocher permettent de personnaliser l'interface de Control'Drive. Il est ainsi par exemple possible de décocher "Schéma fonctionnel" pour que les élèves puissent reconstruire la chaîne fonctionnelle sans avoir la réponse sous les yeux !

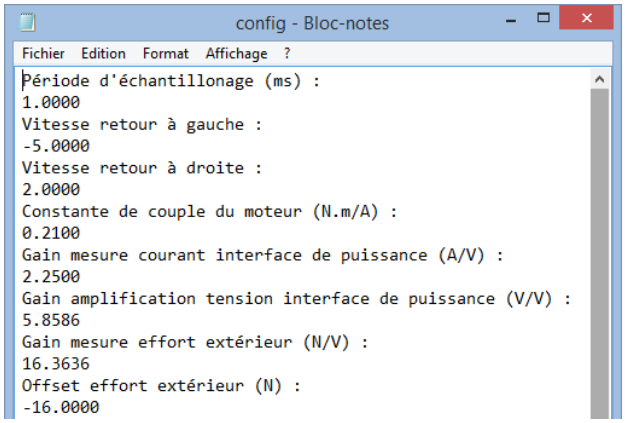
Menu "Fichier"

Quitter : Permet de quitter la fenêtre de paramétrage sans rien sauver

Menu "Paramétrage"



Tous les paramètres sont sauvés dans un fichier nommé "config.txt" situé dans le répertoire d'installation de Control'Drive, sous répertoire "data".
Ce fichier est un fichier texte. Il peut être ouvert dans le bloc-notes Windows par exemple pour observer les différents paramètres mais il est plus ergonomique (et surtout moins risqué) d'utiliser les fonctions de paramétrage intégrées de Control'Drive pour le modifier.



- En mode "élève", le fichier "config.txt" est en lecture seule. Tous les paramètres non-critiques peuvent être modifiés.

- En mode "professeur", le fichier "config.txt" est cette fois ouvert en lecture/écriture. Tous les paramètres sont modifiables et peuvent être aussi sauvegardés.

Retrouver les valeurs par défaut :

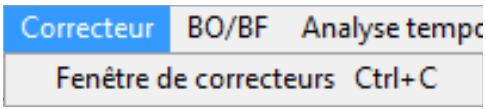
Récupère les valeurs par défaut par lecture du fichier "config.txt".

Désigner les valeurs actuelles comme valeurs par défaut :

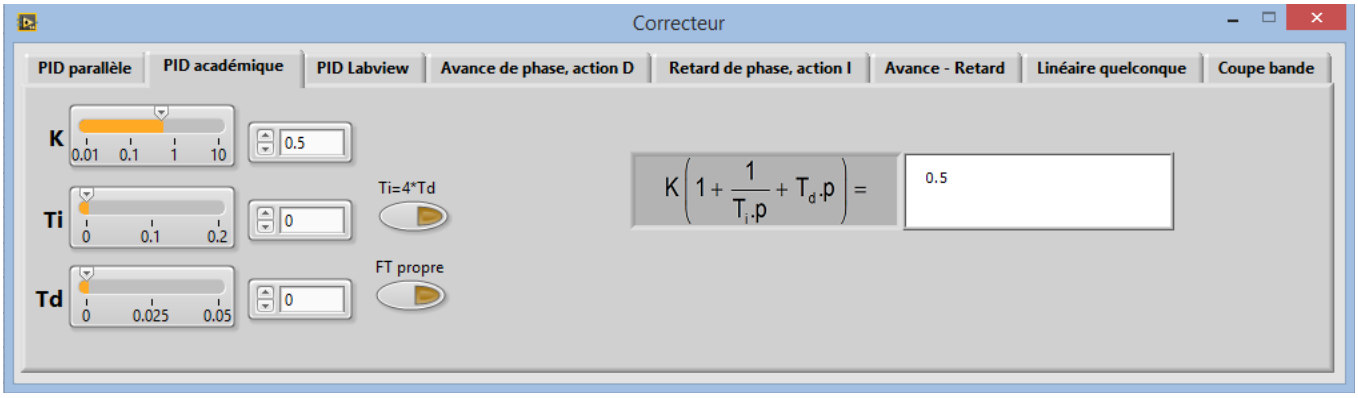
Enregistre tous les paramètres par écriture dans le fichier "config.txt". Les anciennes valeurs sont écrasées. Ce menu n'est accessible qu'en mode "professeur".

Menu "Correcteur"

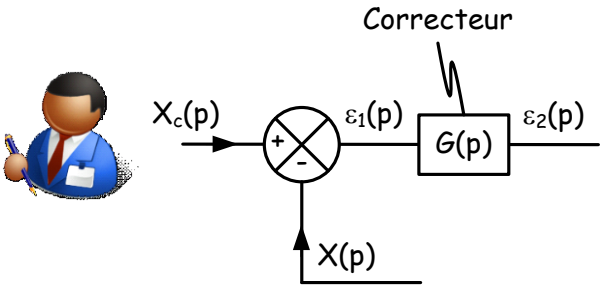
Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir aux menus



Ce menu permet d'ouvrir la fenêtre de correcteurs :



Le correcteur élabore le signal $\varepsilon_2(t)$ à partir du signal $\varepsilon_1(t)$:



Les signaux sont codés en virgule flottante sur 8 octets (IEEE 64 bits).

Les correcteurs se classent en deux catégories :

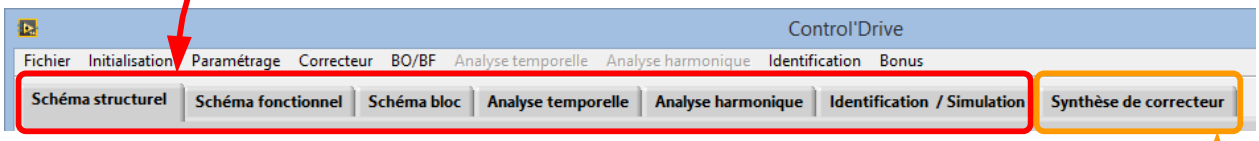
- Tous les correcteurs autres que le PID LabVIEW
- Le PID LabVIEW

Correcteurs autres que le PID LabVIEW

Dans tous les onglets dans lesquels Control'X est asservi, la fonction de transfert du correcteur choisi doit être causale : (degré du numérateur ≤ degré du dénominateur). Il s'agit des onglets autres que "Synthèse correcteur". Lorsque le pilotage s'effectue en boucle ouverte, ce n'est toutefois pas nécessaire.

Dans un certain nombre de sous onglets de "Synthèse correcteur", ce n'est pas forcément nécessaire non plus parce que les opérations effectuées ne nécessitent pas de calcul de transformée en z.

Onglets dans lesquels Control'X est asservi :
Choisir une fonction de transfert du correcteur causale

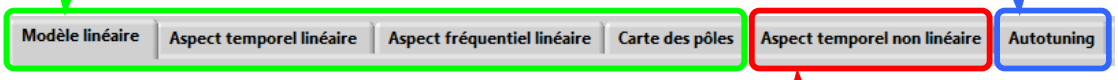


Onglets dans lesquels Control'X n'est pas asservi :
Fonction de transfert causale du correcteur pas nécessaire dans tous les sous onglets

<u>Cas des sous onglets de "Synthèse correcteur" :</u>

Fonction de transfert causale pas nécessaire

Aucun correcteur nécessaire



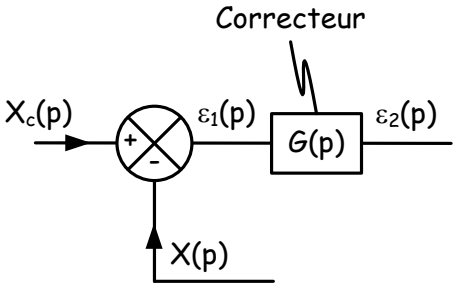
Fonction de transfert causale nécessaire

Asservissement de Control'X :

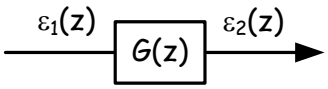
Si la fonction de transfert du correcteur est causale, sa fonction de transfert en z est calculée à partir de sa fonction de transfert en p. La méthode de l'équivalence p-z utilisée est celle de Tustin (aussi appelée bilinéaire ou trapèze).

L'équation récurrente est ensuite obtenue à partir de cette fonction de transfert en z. C'est cette équation récurrente qui est utilisée pour calculer l'écart corrigé $\varepsilon_2(t)$ à partir de l'écart $\varepsilon_1(t)$. Control'X peut alors être asservi.

Si la fonction de transfert n'est pas causale, un message d'erreur s'affiche. En attendant que l'utilisateur choisisse une fonction de transfert causale, c'est la dernière fonction de transfert causale qui est utilisée pour asservir.



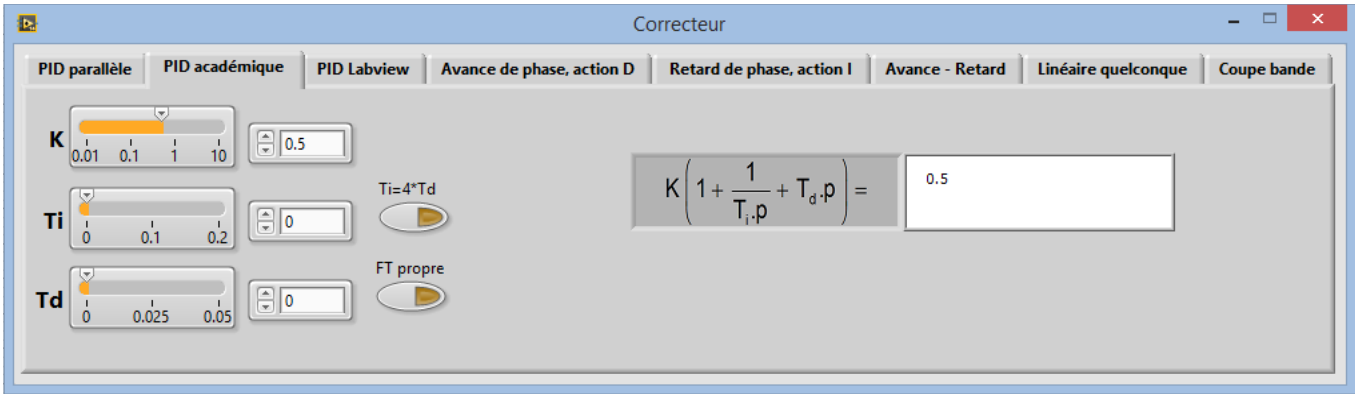
Transformation en z possible que si G(p) est une fonction de transfert causale



$$\frac{\varepsilon_2(z)}{\varepsilon_1(z)} = G(z) = \frac{\sum_{i=0}^{p} a_i.z^{-i}}{1-\sum_{j=1}^{q} b_j.z^{-j}}$$

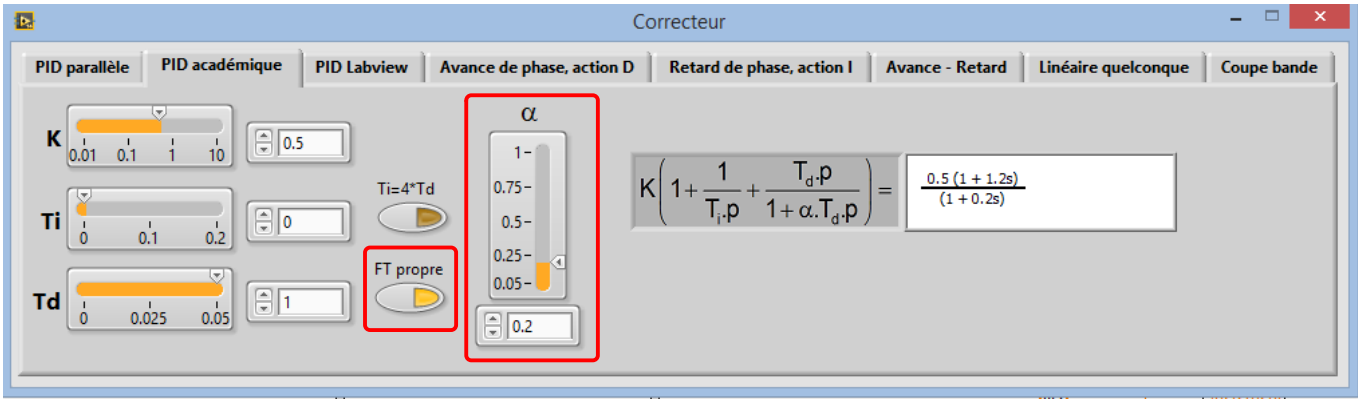
Equation récurrente : $\varepsilon_{2,k} = \sum_{i=0}^{p} a_i.\varepsilon_{1,k-i} + \sum_{j=1}^{q} b_j.\varepsilon_{2,k-j}$

Quelques précisions sur les correcteurs : Exemple sur le PID académique



Remarque : Une valeur de T_i nulle correspond en fait à l'absence de terme intégrateur : $T_i = \infty$

- Dans les onglets dans lesquels une fonction de transfert causale est nécessaire, lorsqu'un terme dérivateur est utilisé il faut cocher l'option "FT propre". Cela permet de transformer le terme dérivateur en pseudo dérivateur et ainsi d'obtenir une fonction de transfert causale. Il faut ensuite ajuster la valeur de α. La valeur de α doit être choisi de façon à ce que la cassure pour la pulsation $\frac{1}{\alpha.T_d}$ soit suffisamment importante pour ne pas dégrader les performances du correcteur choisi.



Lorsque la fonction de transfert du correcteur n'a pas besoin d'être causale (certains onglets de "Synthèse correcteur"), on peut quand même cocher l'option "FT propre" pour transformer le terme dérivateur en pseudo-dérivateur et observer les conséquences sur la dynamique de positionnement.

- <u>Option $T_i = 4.T_d$</u>

Cocher l'option $T_i = 4.T_d$ permet de passer d'un PID à trois degrés de liberté à un PID à deux degrés de liberté en plaçant un zéro double plutôt que deux zéros distincts.

En effet, soit le correcteur $K(1 + \frac{1}{T_i.p} + T_d.p) = \frac{K}{T_i.p}(1 + T_i.p + T_d.T_i.p^2)$

Ce correcteur est un correcteur à 3 degrés de liberté : le triplet (K, T_i, T_d).

Le calage de ce correcteur n'est pas évident, ni dans le domaine fréquentiel, ni dans le lieu des pôles.

En raisonnent en termes de placement de pôles, c'est un correcteur qui permet de placer un pôle nul (augmentation de la classe) et deux zéros.

Il n'y a pas de raison apparente de vouloir placer deux zéros distincts. Lorsque $T_i = 4.T_d$, les deux zéros deviennent un zéro double. Le correcteur est alors un correcteur à 2 degrés de liberté qui est bien plus facile à caler. Ses bénéfices n'en sont pas moins intéressants.

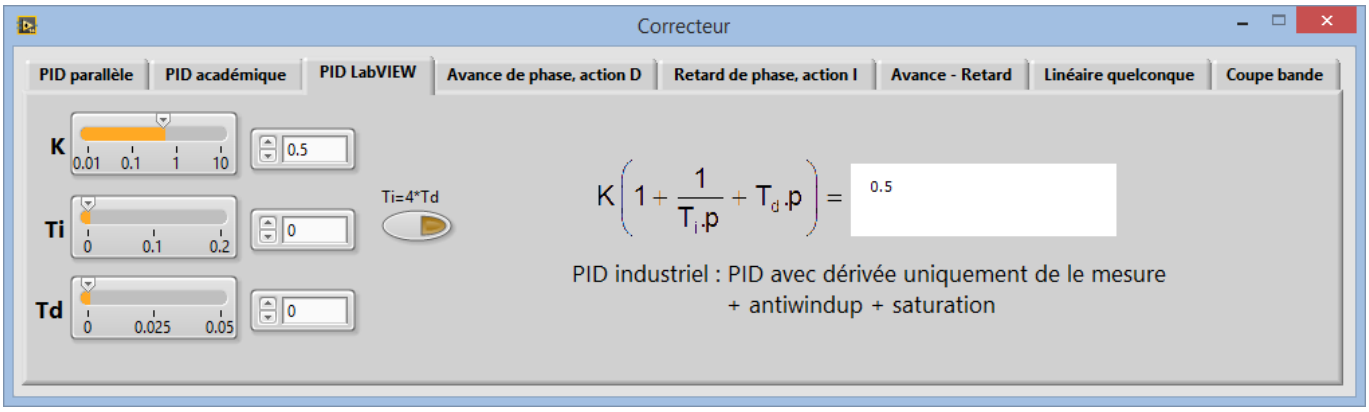
Si $T_i = 4.T_d$, on a $\frac{K}{T_i.p}(1 + T_i.p + T_d.T_i.p^2) = \frac{K}{T_i.p}(1 + 4.T_d.p + 4.T_d^2.p^2) = \frac{K}{T_i.p}(1 + 2.T_d.p)$

Ce correcteur permet donc bien de placer un pôle nul et un zéro double de valeur $\frac{-1}{2.T_d}$

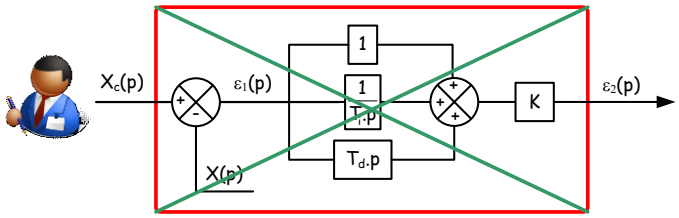
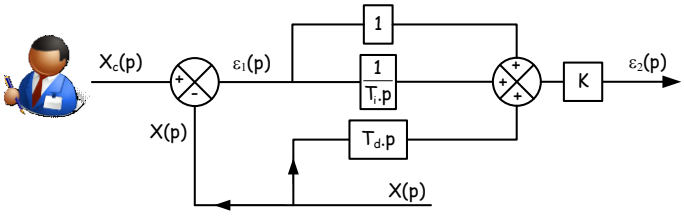
Correcteur PID LabVIEW

Le correcteur PID LabVIEW est un correcteur industriel dont le cœur est un PID académique classique (linéaire) mais qui embarque un certain nombre de variantes ou de non linéarités pour améliorer les performances de l'asservissement :

- Terme dérivateur uniquement sur la mesure et non pas sur l'écart
- Effet antiwindup
- Saturation



La dérivée ne concerne pas l'écart $\varepsilon_1(t)$ mais la mesure $x(t)$:

PID académique	PID LabVIEW
$\varepsilon_2(t)=K.\left(\varepsilon_1(t)+\frac{1}{T_i}\int_0^t\varepsilon_1(\tau).d\tau+T_d.\frac{d\varepsilon_1(t)}{dt}\right)$ 	$\varepsilon_2(t)=K.\left(\varepsilon_1(t)+\frac{1}{T_i}.\int_0^t\varepsilon_1(\tau).d\tau+T_d.\frac{dx(t)}{dt}\right)$ 

La correction n'est donc pas exactement celle dictée par la fonction de transfert affichée car précisément, il n'y a pas de fonction de transfert qui lie $\varepsilon_1(p)$ et $\varepsilon_2(p)$.

<u>Nota :</u> pour des entrées constantes, cette stratégie de dérivation ne change rien.

Sur la base de l'équation continue $\varepsilon_2(t) = K.\left(\varepsilon_1(t) + \frac{1}{T_i}.\int_0^t \varepsilon_1(\tau).d\tau + T_d.\frac{dx(t)}{dt}\right)$, une étape de discrétisation est mise en œuvre :

	Equation continue	Equation discrétisée
Terme proportionnel	$\varepsilon_2(t) = K.\varepsilon_1(t)$	$\varepsilon_{2,k} = K.\varepsilon_{1,k}$
Terme intégral	$\varepsilon_2(t) = \frac{K}{T_i}.\int_0^t \varepsilon_1(\tau).d\tau$	$\varepsilon_{2,k} = \frac{K}{T_i}.\sum_{i=1}^{k} \frac{\varepsilon_{1,k} + \varepsilon_{1,k-1}}{2}.T_{éch}$: Méthode des trapèzes
Terme dérivé	$\varepsilon_2(t) = K.T_d.\frac{dx(t)}{dt}$	$\varepsilon_{2,k} = -K.T_d.\frac{x_k - x_{k-1}}{T_{éch}}$: Méthode des rectangles (Euler explicite) : réalisation causale.

Compte tenu du schéma de calcul utilisé, l'asservissement peut très bien être effectué avec une forme non causale du terme dérivateur.

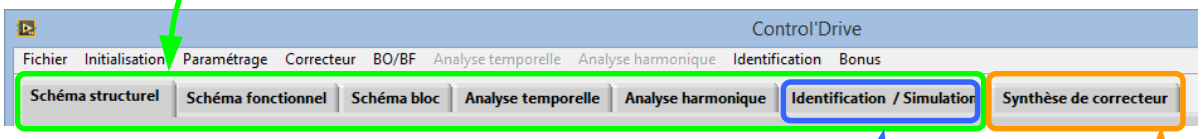
De plus, le PID LabVIEW entre dans le cadre d'un algorithme de correction plus complexe qui casse la linéarité :

- Implémentation d'un anti-windup associé au terme intégral
- Implémentation d'une saturation à ± 10V

Pour de plus amples détails sur le PID LabVIEW, voir la documentation LabVIEW "PID toolkit User Manual.pdf" dans "…\Control'X\Dossier ressources\Doc Labview"

Onglets généraux :

Onglets dans lesquels Control'X est asservi :
Fonction de transfert causale du correcteur non nécessaire
Le comportement exact du PID LabVIEW est pris en compte

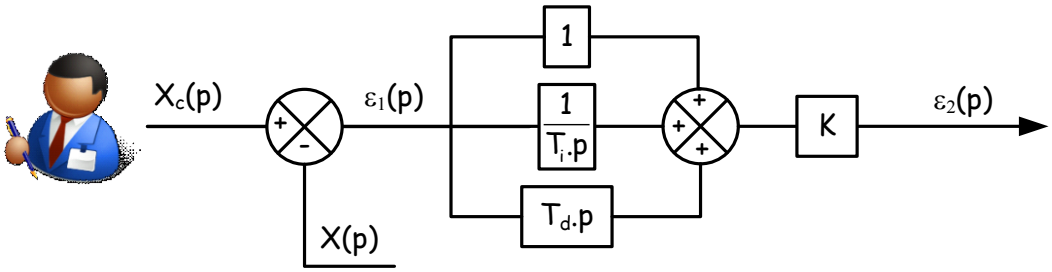


PID LabVIEW non supporté dans la simulation non linéaire

Onglets dans lesquels Control'X n'est pas asservi :

Sous onglets de "Synthèse correcteur" :

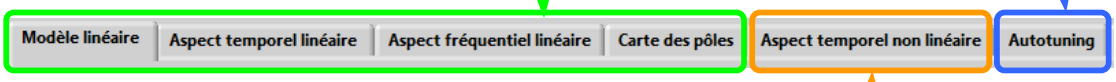
Dans "Synthèse correcteur", le PID LabVIEW est remplacé par le PID académique : Seule la partie linéaire du PID LabVIEW est alors considérée et le terme dérivé concerne bien l'écart et non pas la mesure.



$$\varepsilon_2(t) = K.\left(\varepsilon_1(t) + \frac{1}{T_i}.\int_0^t \varepsilon_1(\tau).d\tau + T_d.\frac{d\varepsilon_1(t)}{dt}\right)$$

Fonction de transfert causale non nécessaire

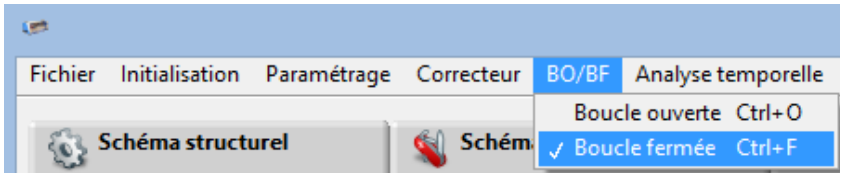
Aucun correcteur nécessaire



PID LabVIEW non supporté

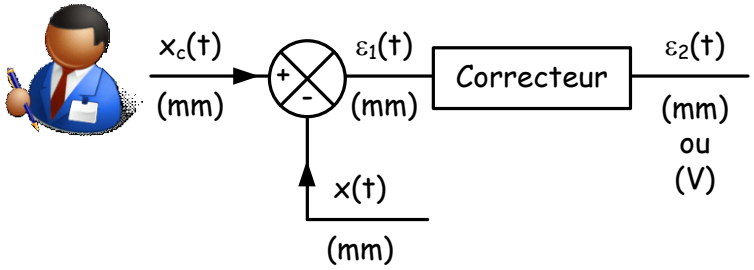
Menu "BO / BF"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir aux menus



Ce menu permet de choisir le mode de pilotage : boucle fermée ou boucle ouverte.

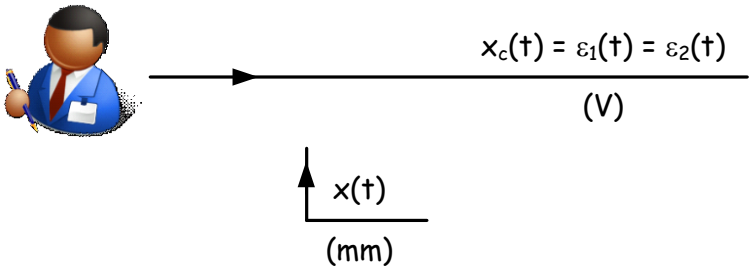
Menu "Boucle fermée"



Tous ces signaux sont des signaux numériques et se trouvent dans la mémoire de l'ordinateur, ils sont codés en virgule flottante. Il n'y a pas d'unités … sauf celles que l'on veut bien imaginer.

Le signal $\varepsilon_2(t)$ est indiqué en mm ou V : c'est à l'appréciation de chacun…

Menu "Boucle ouverte"

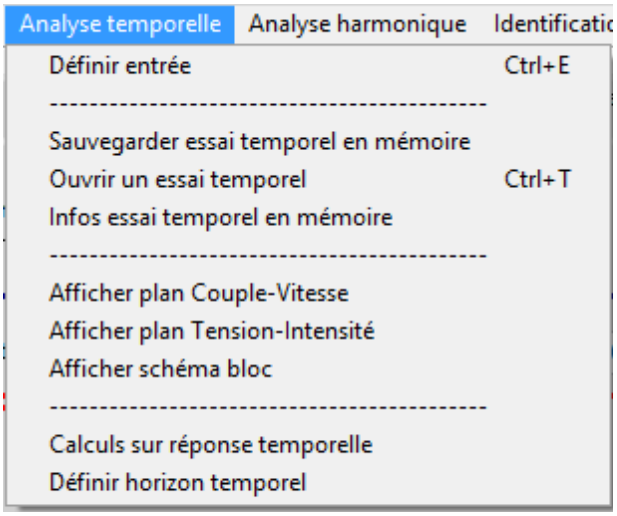


Il n'y a plus ni soustraction ni correction mais les signaux existent toujours au niveau du cœur de l'asservissement dans la mémoire de l'ordinateur.

L'unité est plutôt le volt pour $x_c(t)$, $\varepsilon_1(t)$ et $\varepsilon_2(t)$.

Menu "Analyse temporelle

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir aux menus



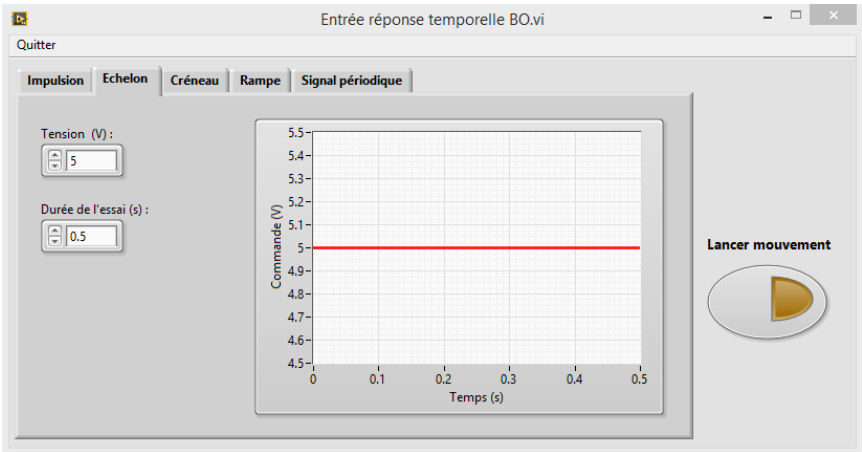
Menu "Analyse temporelle"	
Définir entrée	page 81
Sauvegarder essai temporel en mémoire	page 82
Ouvrir un essai temporel	page 86
Infos essai temporel en mémoire	page 86
Afficher plan Couple-Vitesse	page 88
Afficher plan Tension-Intensité	page 87
Afficher schéma bloc	page 89
Calculs sur réponse temporelle	page 90
Définir horizon temporel	Page 92

Menu "Définir entrée"

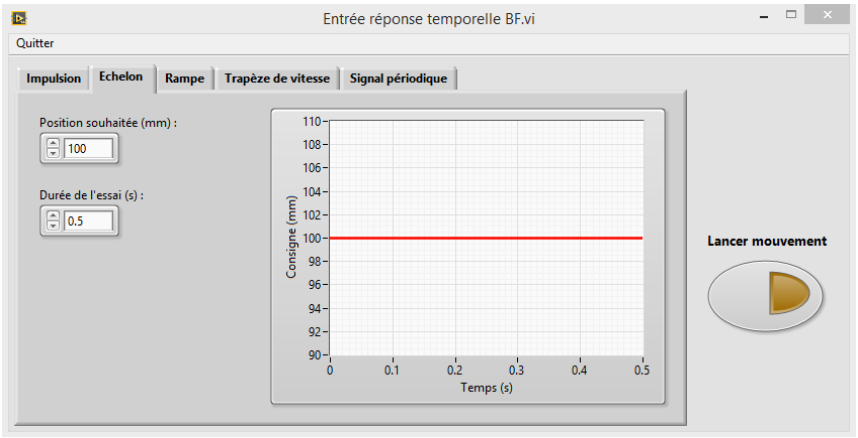
Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse temporelle"

Ce menu permet d'imposer des sollicitations à Control'X selon deux modes : boucle ouverte ou boucle fermée :

Pilotage en boucle ouverte



Pilotage en boucle fermée



Pour certaines entrées, la durée de l'essai est prolongée de 0.2 s pour qu' un régime permanent ait le temps de s'installer.

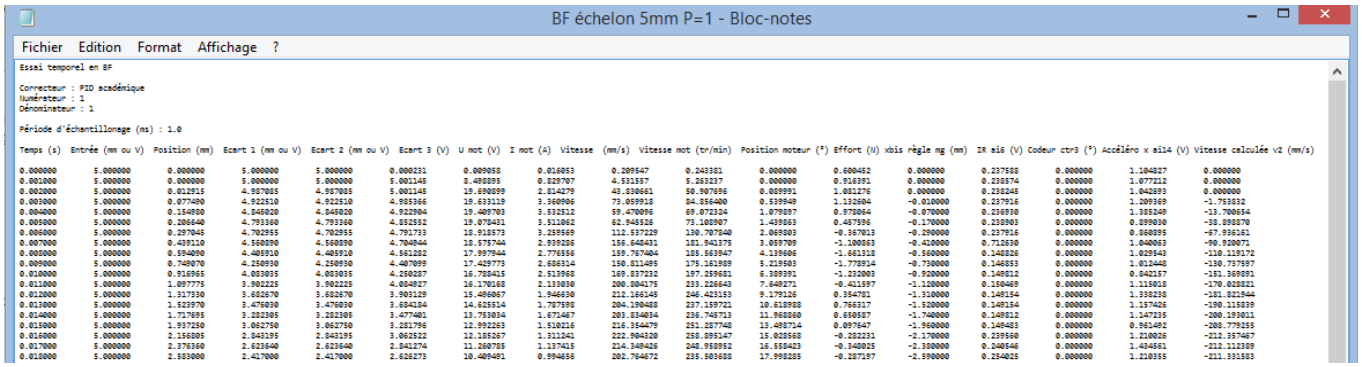
Menu "Sauvegarder essai temporel en mémoire"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse temporelle"

Une réponse temporelle peut être sauvegardée dans un fichier texte. Le séparateur est la tabulation et le séparateur décimal le point : Il peut être utile de configurer Windows pour que le séparateur décimal soit le point et non pas la virgule (dans les options régionales).

Lors des sauvegardes, il est pratique d'ajouter l'extension ".txt" au nom du fichier. Le bloc-notes Windows pourra alors ouvrir le fichier par double-clic. On pourra par exemple avoir accès aux informations des lignes d'en-tête.

Exemple :

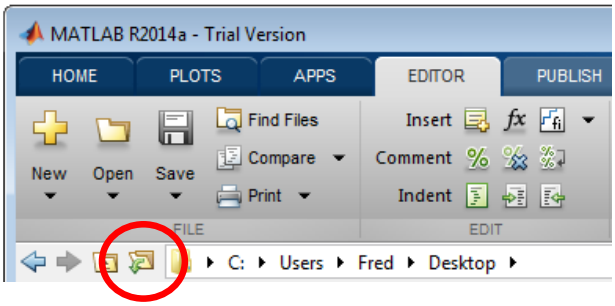



```
Essai temporel en BF

Correcteur : PID académique
Numérateur : 1
Dénominateur : 1

Période d'échantillonage (ms) : 1.0

Temps (s)  Entrée (mm ou V)  Position (mm)  Ecart 1 (mm ou V)  Ecart 2 (mm ou V)  Ecart 3 (V)  U mot (V)  I mot (A)  Vitesse  (mm/s)  Vitesse mot (tr/min)  Position moteur (°)  Effort (N)  xbis règle mg (mm)  IR ai6 (V)  Codeur ctr3 (°)  Accéléro x ai14 (V)  Vitesse calculée v2 (mm/s)

0.000000    5.000000    0.000000    5.000000    5.000000    0.000231    0.009058    0.016053    0.209547    0.243381    0.000000    0.600452    0.000000    0.237588    0.000000    1.104827    0.000000
0.001000    5.000000    0.000000    5.000000    5.000000    5.001146    8.498895    0.829707    4.531557    5.263237    0.000000    0.916391    0.000000    0.238574    0.000000    1.077212    0.000000
0.002000    5.000000    0.012915    4.987085    4.987085    5.001146    19.690099    2.814279    43.830661    50.907696    0.039991    1.081276    0.000000    0.238245    0.000000    1.042693    0.000000
0.003000    5.000000    0.077480    4.922510    4.922510    4.995366    19.633119    3.368986    73.059918    84.856400    0.539949    1.132684    -0.010000    0.237916    0.000000    1.209369    -1.753832
0.004000    5.000000    0.154880    4.845020    4.845020    4.922904    19.409703    3.532512    59.470096    69.072324    1.079897    0.978064    -0.070000    0.236930    0.000000    1.385248    -13.700654
0.005000    5.000000    0.206640    4.793360    4.793360    4.852552    19.078431    3.511062    62.948526    73.108907    1.439863    0.457596    -0.170000    0.238903    0.000000    0.899030    -38.898870
0.006000    5.000000    0.297045    4.702955    4.702955    4.791733    18.918573    3.259569    112.537229    130.707840    2.069303    -0.367013    -0.290000    0.237916    0.000000    0.860395    -67.936161
0.007000    5.000000    0.409110    4.590890    4.590890    4.704844    18.578744    2.938286    156.648431    181.941375    3.057709    -1.100063    -0.410000    0.712830    0.000000    1.040063    -98.920071
0.008000    5.000000    0.594090    4.405910    4.405910    4.561282    17.997944    2.776556    159.767404    185.563947    4.139606    -1.661318    -0.560000    0.148526    0.000000    1.029543    -110.119172
0.009000    5.000000    0.749070    4.250930    4.250930    4.407099    17.429773    2.686314    150.811485    175.161989    5.219503    -1.775914    -0.730000    0.146853    0.000000    1.012448    -130.737597
0.010000    5.000000    0.918965    4.081035    4.081035    4.250287    16.788415    2.513968    169.837232    197.259661    6.309391    -1.232083    -0.920000    0.148812    0.000000    0.842157    -151.369891
0.011000    5.000000    1.097775    3.902225    3.902225    4.084927    16.179168    2.133030    200.904179    233.226643    7.648271    -0.411987    -1.120000    0.150469    0.000000    1.119018    -170.828821
0.012000    5.000000    1.317330    3.682670    3.682670    3.903129    15.486067    1.946630    212.166145    246.423153    9.179126    0.354781    -1.310000    0.148154    0.000000    1.338238    -181.821944
0.013000    5.000000    1.523970    3.476030    3.476030    3.684184    14.625514    1.787598    204.190488    237.159721    10.618985    0.766317    -1.520000    0.148154    0.000000    1.157426    -190.115839
0.014000    5.000000    1.717695    3.282305    3.282305    3.477401    13.753034    1.671467    203.834034    236.748713    11.968360    0.698587    -1.740000    0.148012    0.000000    1.147235    -200.193011
0.015000    5.000000    1.937250    3.062750    3.062750    3.281796    12.992263    1.510216    216.354479    251.287748    13.488714    0.097647    -1.960000    0.148483    0.000000    0.961482    -208.779255
0.016000    5.000000    2.156805    2.843195    2.843195    3.062522    12.185267    1.311241    222.904320    258.895147    15.028568    -0.282231    -2.170000    0.239560    0.000000    1.210026    -212.357467
0.017000    5.000000    2.376360    2.623640    2.623640    2.841274    11.260785    1.137415    214.348426    248.950952    16.558423    -0.348025    -2.330000    0.240546    0.000000    1.434561    -212.112389
0.018000    5.000000    2.583000    2.417000    2.417000    2.626275    10.409481    0.994656    202.764672    235.505658    17.998285    -0.287197    -2.590000    0.254825    0.000000    1.210355    -211.331583
```

Le format utilisé est le format texte. Il est compatible avec

- Excel
- Matlab à condition de supprimer les lignes d'en-tête. (Avec le bloc-notes Windows par exemple ou directement sous Matlab)

Commencer sous Matlab par inclure le chemin du répertoire contenant le fichier à importer dans le "path" de Matlab :

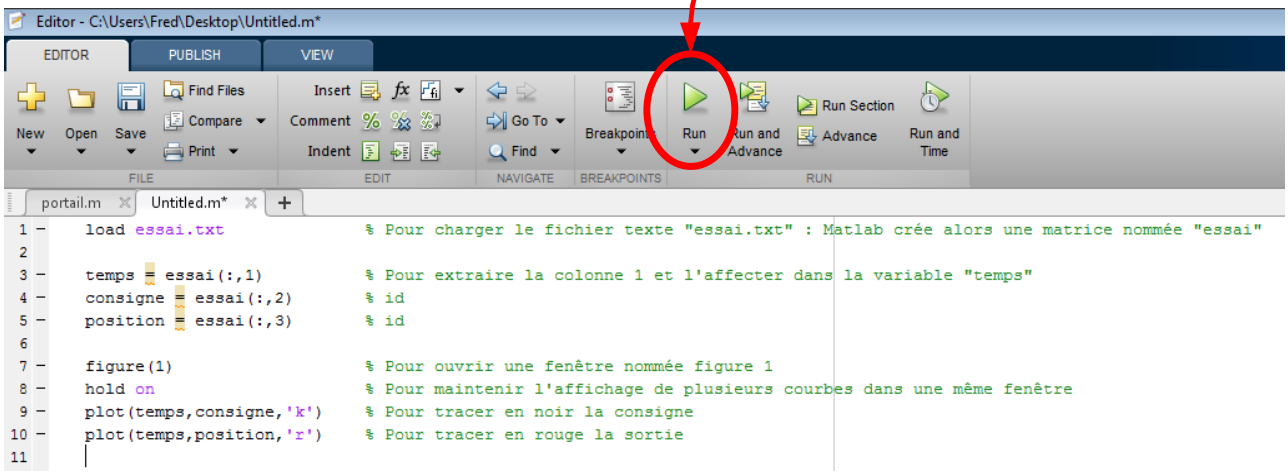


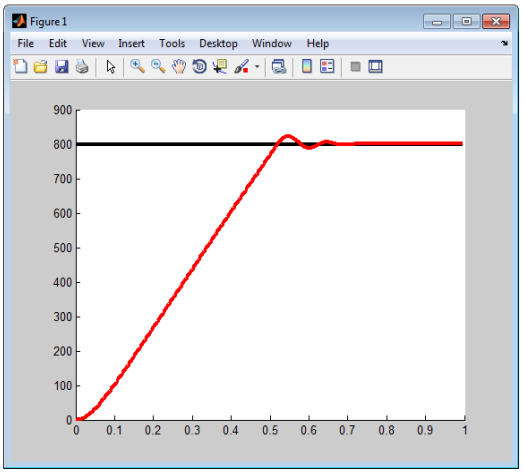
Saisir ensuite la commande "load nom_fichier.txt"
Matlab crée une matrice nom_fichier contenant les données.

Si le nom de fichier texte contient des blancs, ils sont remplacés par des underscores "_" dans le nom de la matrice Matlab.

Saisir les instructions suivantes pour procéder à un traitement élémentaire : soit une à une sur la ligne de commande ou dans un petit script .m :

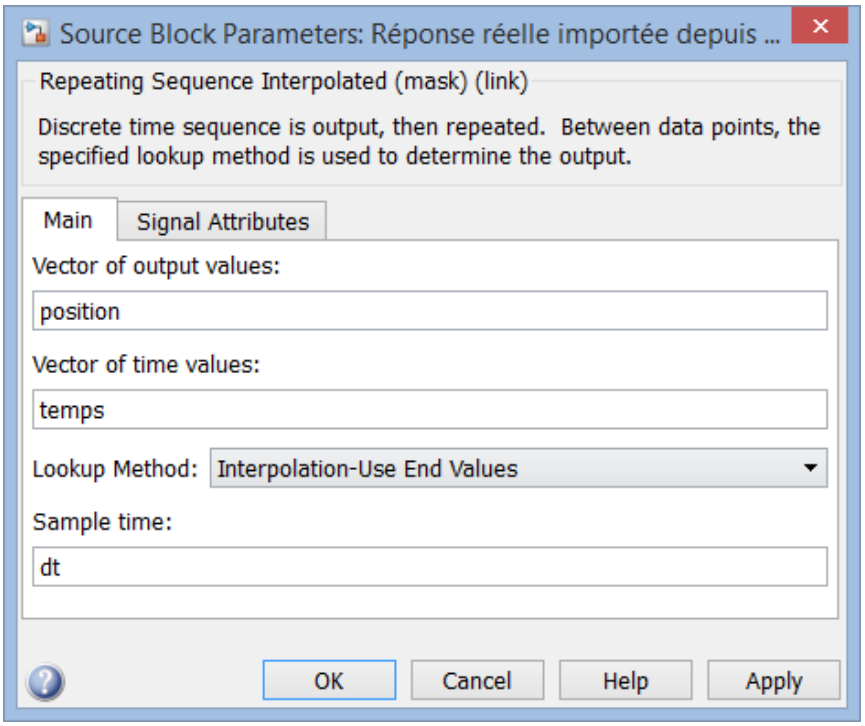
Pour lancer l'exécution du script

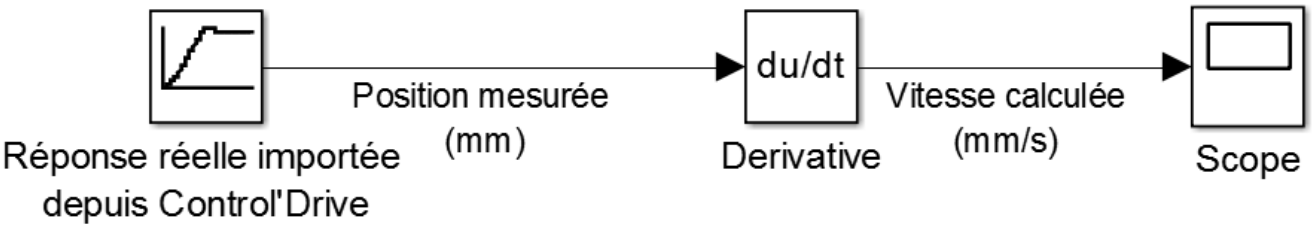




Les résultats, une fois rapatriés sous Matlab, ou sous Simulink peuvent subir un traitement numérique pour mettre en évidence l'intérêt d'un filtre par exemple.

Pour rapatrier une série de valeurs sous Simulink, après avoir réalisé les opérations précédentes, on peut utiliser le bloc "From Wokspace" ou "Repeating sequence interpolated" par exemple :





Le calcul d'une vitesse par dérivation bruite énormément le signal, il vaut mieux lui préférer une pseudo-dérivation.

Nota :

Il peut être très utile de se constituer une petite bibliothèque d'exemples. Cela est particulièrement intéressant pour le travail en îlot, pour les séances de synthèse ou pour éclairer un point du cours lorsqu'on n'a pas Control'X dans sa salle de cours. On peut alors se contenter d'utiliser Control'Drive en mode hors-ligne c'est à dire non connecté à Control'X et de charger les fichiers qui permettent d'éclairer tel ou tel point du cours.

Harmo BF w=0.1_100 retard K=0.2 t=0.15 b=5 amp...	12/11/2014 23:15	Document texte	4 Ko
Harmo BF w=0.1_200 PI P=0.5 I=2 amp=20.txt	12/11/2014 23:16	Document texte	4 Ko
Harmo BF w=0.05_200 retard K=0.2 t=0.15 b=25 am...	12/11/2014 23:24	Document texte	4 Ko
Harmo BO K=0.5 amp=10.txt	12/11/2014 23:19	Document texte	4 Ko
Harmo par défaut.txt	11/11/2014 22:41	Document texte	4 Ko
Tempo BF 10 mm G=1.txt	12/11/2014 09:43	Document texte	29 Ko
Tempo BF 100 mm G=0.2.txt	12/11/2014 09:39	Document texte	31 Ko
Tempo BF 100 mm G=0.5.txt	12/11/2014 09:41	Document texte	30 Ko

Menu "Ouvrir un essai temporel"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse temporelle"

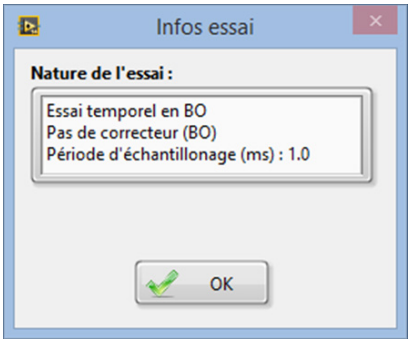
Permet de charger un fichier contenant les résultats d'un essai temporel en mémoire.

Il peut être utile de configurer Windows pour que le séparateur décimal soit le point et non pas la virgule (dans les options régionales).

Menu "Infos essai temporel en mémoire "

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse temporelle"

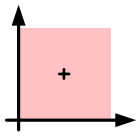
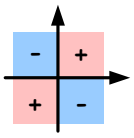
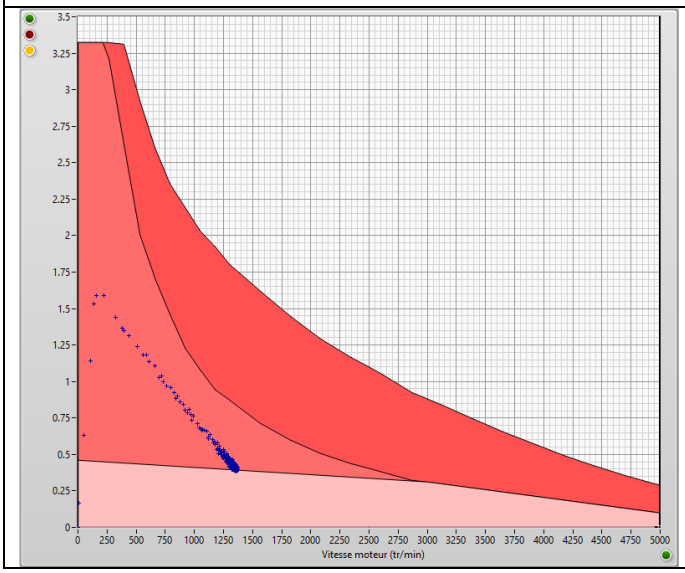
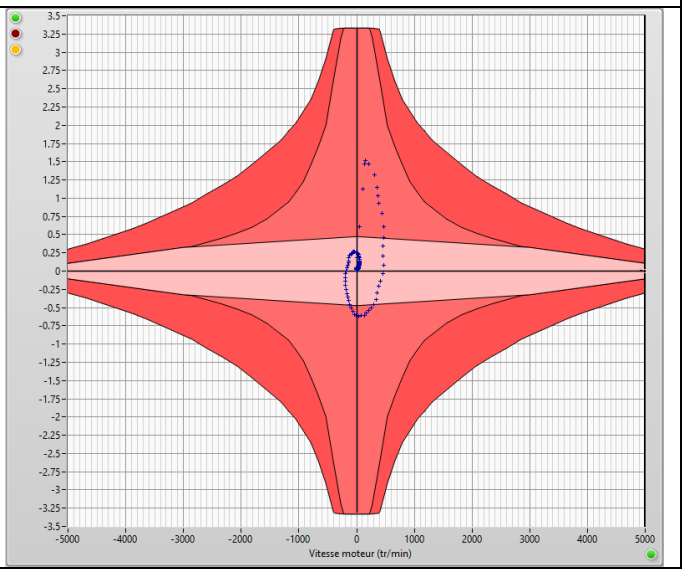
Cet outil permet de se remémorer le type d'essai temporel en mémoire :



Menu "Afficher plan Couple-Vitesse"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse temporelle"

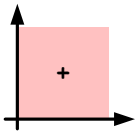
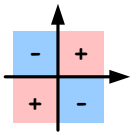
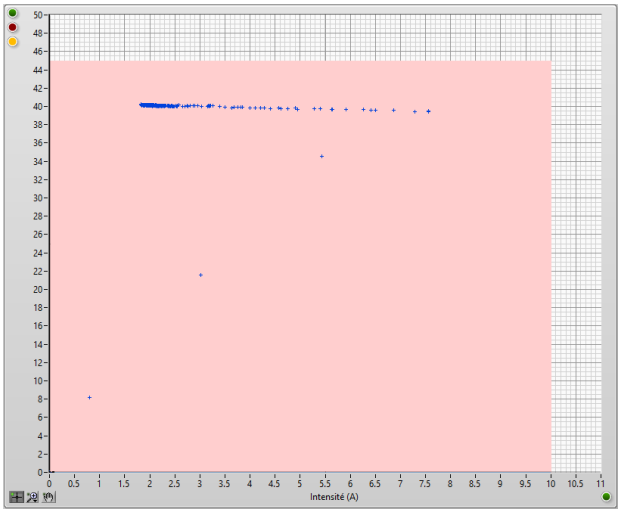
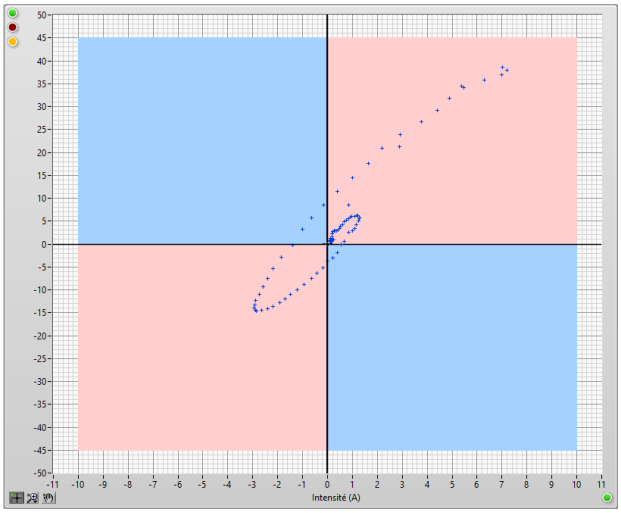
Ce menu permet de tracer les couples de points (C_{moteur}, ω_{moteur}) au cours de l'essai temporel en mémoire. Les échelles sont ajustées automatiquement pour visualiser 1 quadrant ou 4 quadrants et les différents domaines de fonctionnement du moteur sont tracés.

Essai en boucle ouverte sous 10 V	Essai indiciel de 5 mm en boucle fermée avec un gain de 2
Mode 1 quadrant :  C_{moteur} en ordonnées ω_{moteur} en abscisses	Mode 4 quadrants  C_{moteur} en ordonnées ω_{moteur} en abscisses
	

Menu "Afficher plan tension-intensité"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse temporelle"

Ce menu permet de tracer les couples de points (U_{moteur}, i_{moteur}) au cours de l'essai temporel en mémoire. Les échelles sont ajustées automatiquement pour visualiser 1 quadrant ou 4 quadrants et les quadrants moteurs et résistants sont colorisés.

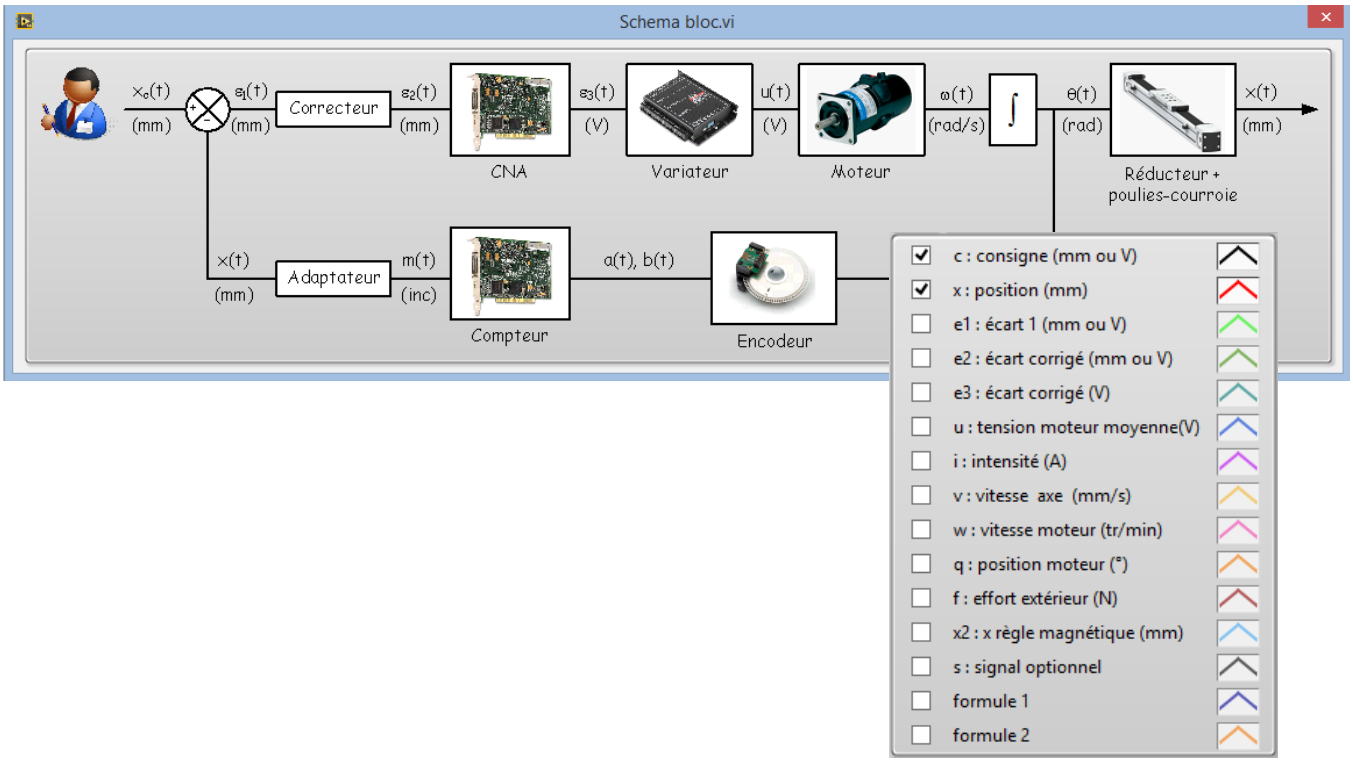
Essai en boucle ouverte sous 10 V	Essai indiciel de 5 mm en boucle fermée avec un gain de 2
Mode 1 quadrant :  C_{moteur} en ordonnées ω_{moteur} en abscisses	Mode 4 quadrants  C_{moteur} en ordonnées ω_{moteur} en abscisses
	

Nota : il peut être intéressant d'utiliser la fenêtre "Définir horizon temporel" du menu "Analyse temporelle" pour modifier l'horizon temporel et ainsi bien visualiser dans quel sens le parcours est effectué.

Menu "Afficher schéma bloc"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse temporelle"

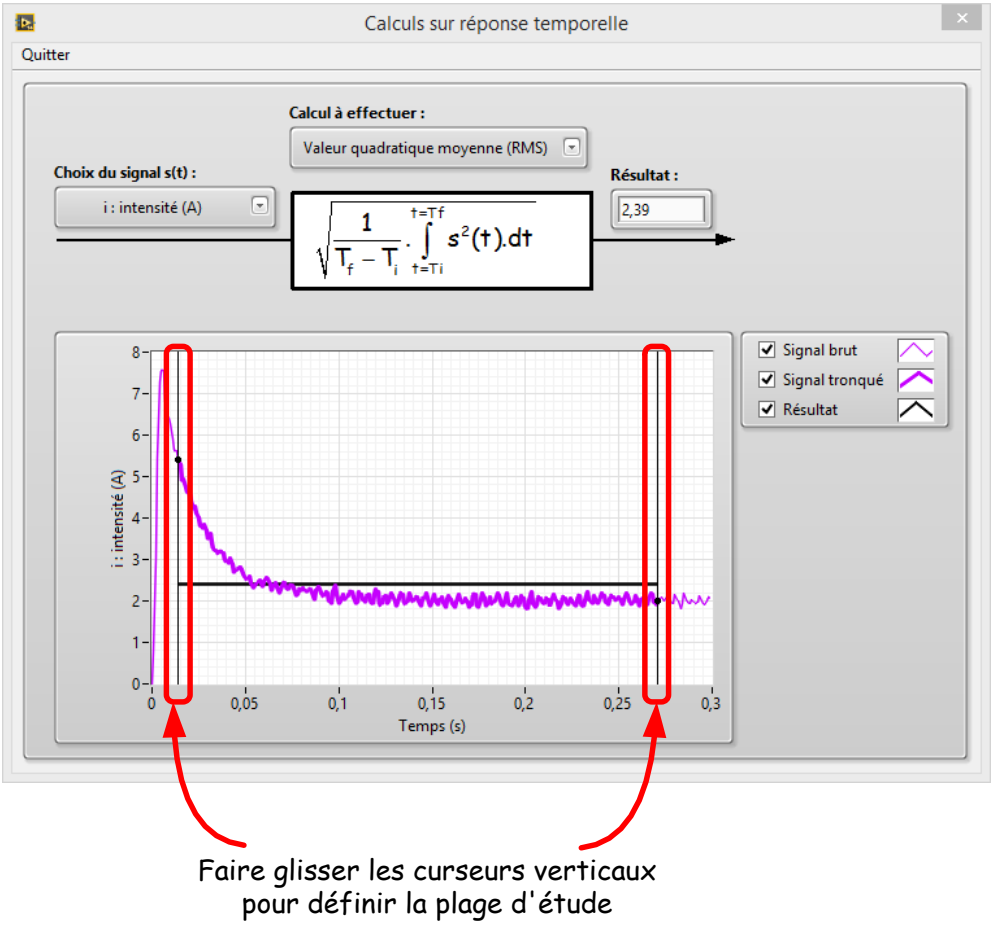
Cet outil permet de se remémorer la signification des différents signaux du menu "Analyse temporelle" lorsqu'on se trouve par exemple dans l'onglet "Analyse temporelle".



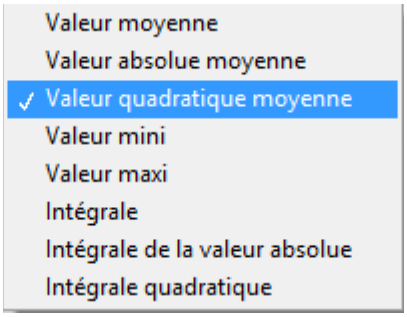
Menu "Calculs sur réponse temporelle"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse temporelle"

La fenêtre qui s'ouvre permet d'effectuer un certain nombre de calculs sur les signaux temporels de l'essai en mémoire :



Les calculs possibles sont les suivants :



En particulier sur une durée T_f - T_i, on peut effectuer les opérations ci-dessous sur le signal s(t) choisi :

- L'intégrale : $\int_{t=Ti}^{t=Tf} s(t).dt$
- L'intégrale de la valeur absolue : $\int_{t=Ti}^{t=Tf} |s(t)|.dt$
- L'intégrale de la valeur quadratique $\int_{t=Ti}^{t=Tf} s^2(t).dt$
- La valeur moyenne : $\frac{1}{T_f - T_i}.\int_{t=Ti}^{t=Tf} s(t).dt$
- La valeur absolue moyenne : $\frac{1}{T_f - T_i}.\int_{t=Ti}^{t=Tf} |s(t)|.dt$
- La valeur quadratique moyenne (ou valeur efficace ou RMS) : $\sqrt{\frac{1}{T_f - T_i}.\int_{t=Ti}^{t=Tf} s^2(t).dt}$

La valeur RMS par exemple peut être très intéressante appliquée à l'intensité pour évaluer l'échauffement du moteur. Cette valeur RMS peut aussi directement être appliquée au couple moteur pour obtenir le couple thermique équivalent (utiliser le champ formule C_m = 0.21.i).

L'intégrale de la valeur quadratique ou la valeur RMS appliquée au signal $\varepsilon_1(t)$ peut être intéressante pour quantifier l'ensemble des écarts dynamiques. Cela devient un bon critère pour quantifier la précision d'un système asservi. Le méthode de Sartorius par exemple peut être mise en évidence sur $\int_{t=Ti}^{t=Tf} \varepsilon_1^2(t).dt$.

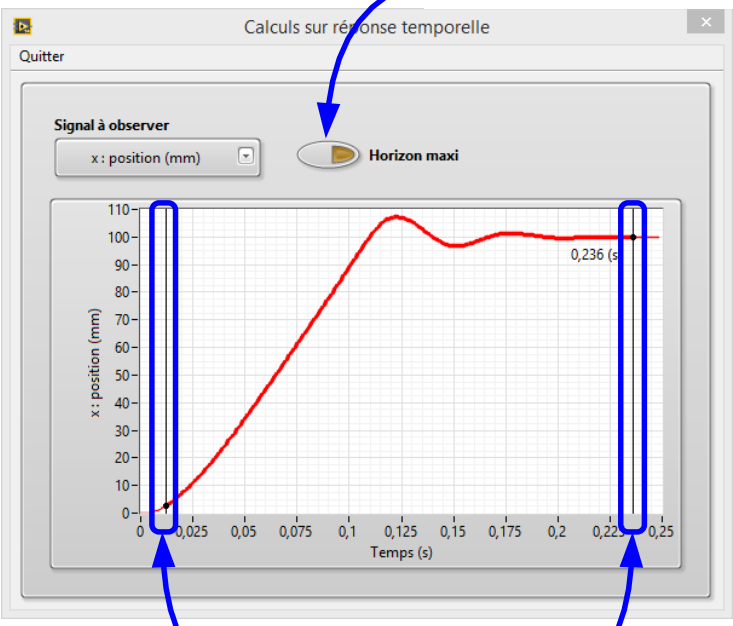
<u>Nota :</u> tous les calculs sont effectués sur les données tronquées

Menu "Définir horizon temporel"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse temporelle"

Cette fenêtre permet de restreindre l'horizon temporel de l'essai temporel en mémoire.

Pour observer tous les points de l'essai temporel

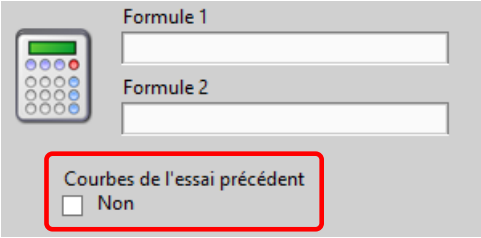


Faire glisser les curseurs verticaux
pour définir l'horizon temporel

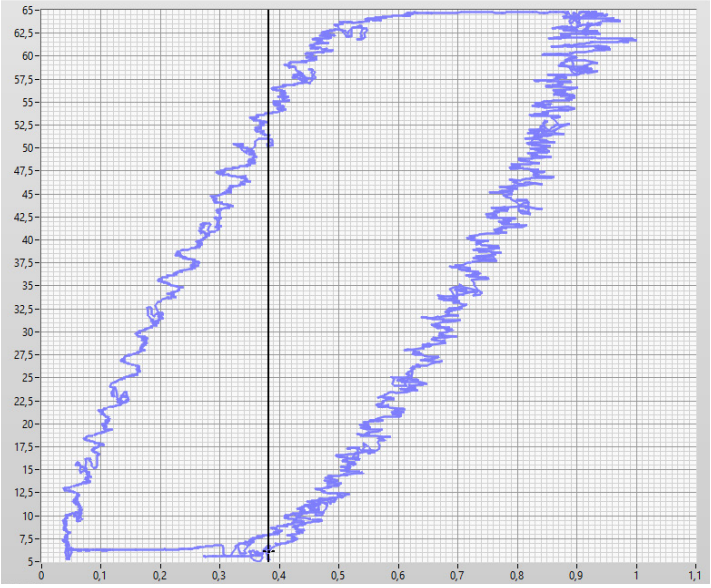
Nota 1 : les informations ne sont pas perdues et la totalité des données d'un essai temporel peut être retrouvée en utilisant une nouvelle fois cette fenêtre "Définir horizon temporel".

Nota 2 : en cas d'enregistrement de l'essai temporel en mémoire dans un fichier, toutes les données sont enregistrées et non pas seulement celles relatives à l'horizon temporel restreint le cas échéant.

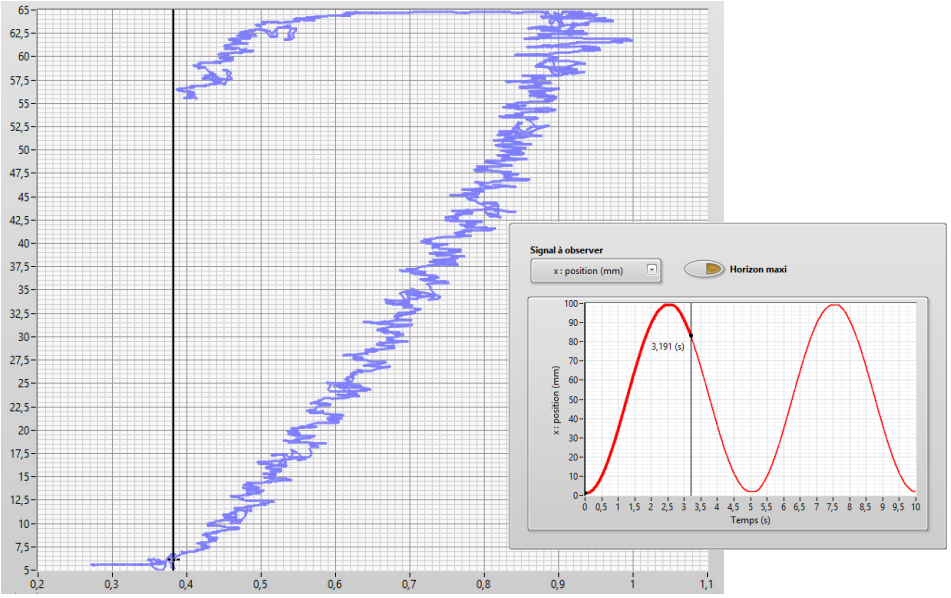
Nota 3 : La définition de l'horizon temporel d'étude s'applique aussi à l'essai temporel précédent (dans menu analyse temporel) :



Nota 4 : La restriction du domaine d'étude est particulièrement utile lorsque la courbe présente un hystérésis et que l'on souhaite connaître le sens du parcours du tracé au cours du temps.



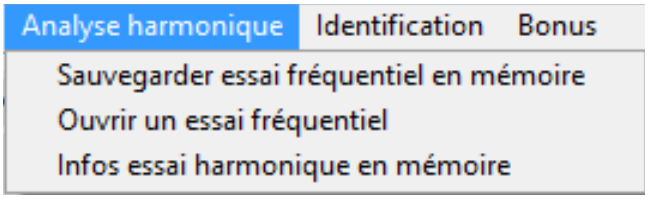
Cycle complet : dans quel sens est-t-il parcouru ?



Le sens de parcours apparaît clairement en restreignant la plage d'étude aux premiers instants de l'essai.

Menu "Analyse harmonique"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir aux menus



Menu "Analyse harmonique"
Sauvegarder essai fréquentiel en mémoire
Ouvrir un essai fréquentiel
Infos essai harmonique en mémoire

Menu "Sauvegarder essai fréquentiel en mémoire"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse harmonique"

Une réponse fréquentielle peut être sauvegardée dans un fichier texte. Le séparateur est la tabulation le séparateur décimal le point : Il peut être utile de configurer Windows pour que le séparateur décimal soit le point et non pas la virgule (dans les options régionales).

Lors des sauvegardes, il est pratique d'ajouter l'extension ".txt" au nom du fichier. Le bloc-notes Windows pourra alors ouvrir le fichier par double-clic. On pourra par exemple avoir accès aux informations des lignes d'en-tête.

Exemple :

Harmo BF w=0.05_200 retard K=0.2 t=0.15 b=25 amp=20 - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage ?

```
Essai fréquentiel en BF

Correcteur Retard de phase
Numérateur : 0.200000
Dénominateur : 1.000000

Pulsation mini (rad/s) : 0.0500
Pulsation maxi (rad/s) : 200.0000
Amplitude d'excitation (mm) : 20

Période d'échantillonage (ms) : 2.0

Pulsation (rad/s)   Gain BO/BF   Phase BO/BF (°)  Gain BO corrigée Phase BO corrigée (°) Gain BO non corrigée  Phase BO non corrigée (°) Gain correcteur Phase correcteur (°)

0.050000        0.995931        -0.988685       55.745309       -79.069044      11.345539       -68.888311      4.913412        -10.180733
0.066555        0.996324        -1.036116       52.997476       -80.024314      10.926176       -65.679931      4.850506        -14.344383
0.088591        0.997270        -1.117468       50.703579       -83.270048      10.685604       -65.650986      4.745036        -17.619062
0.117923        0.998695        -1.183404       48.172510       -87.193267      10.534108       -64.330943      4.573003        -22.862324
0.156966        1.000427        -1.285017       44.460338       -92.160136      10.316518       -62.991012      4.309627        -29.169125
0.208937        1.003201        -1.419397       39.916942       -97.982663      10.138741       -61.902824      3.937071        -36.079839
0.278115        1.006886        -1.635810       34.456101       -104.347818     9.950980        -60.536869      3.462584        -43.810949
0.370197        1.012053        -1.907803       28.476874       -110.250060     9.732703        -59.256292      2.925896        -50.993768
0.492767        1.018901        -2.311697       22.821544       -116.183053     9.569204        -58.717351      2.384895        -57.465702
0.655920        1.027704        -2.862601       17.774689       -119.965975     9.399418        -57.650358      1.891041        -62.315617
0.873091        1.038868        -3.704373       13.700925       -122.317563     9.308402        -56.708357      1.471888        -65.609206
1.162167        1.052711        -4.801951       10.488027       -123.767315     9.249267        -56.467018      1.133931        -67.300298
```

Le format utilisé est le format texte. Il est compatible avec

- Excel
- Matlab à condition de supprimer les 14 lignes d'en-tête. (Avec le bloc-notes Windows par exemple ou directement sous Matlab)

Menu "Ouvrir un essai fréquentiel"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse harmonique"

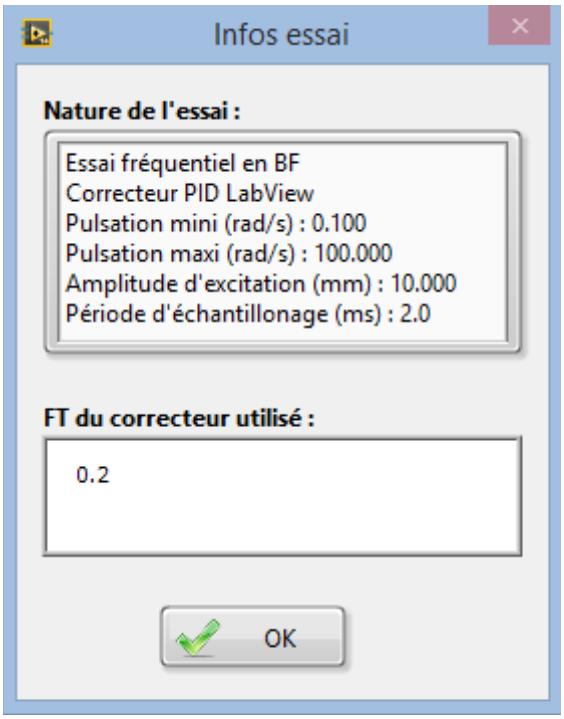
Permet de charger un fichier contenant les résultats d'un essai fréquentiel en mémoire.

Il peut être utile de configurer Windows pour que le séparateur décimal soit le point et non pas la virgule (dans les options régionales).

Menu "Infos essai harmonique en mémoire"

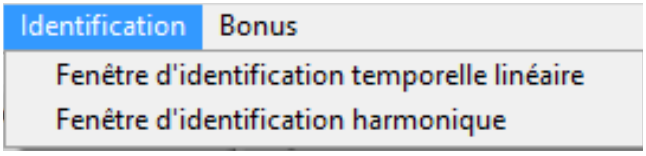
Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Analyse harmonique"

Cet outil permet de se remémorer le type d'essai harmonique en mémoire :



Menu "Identification / Simulation"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir aux menus

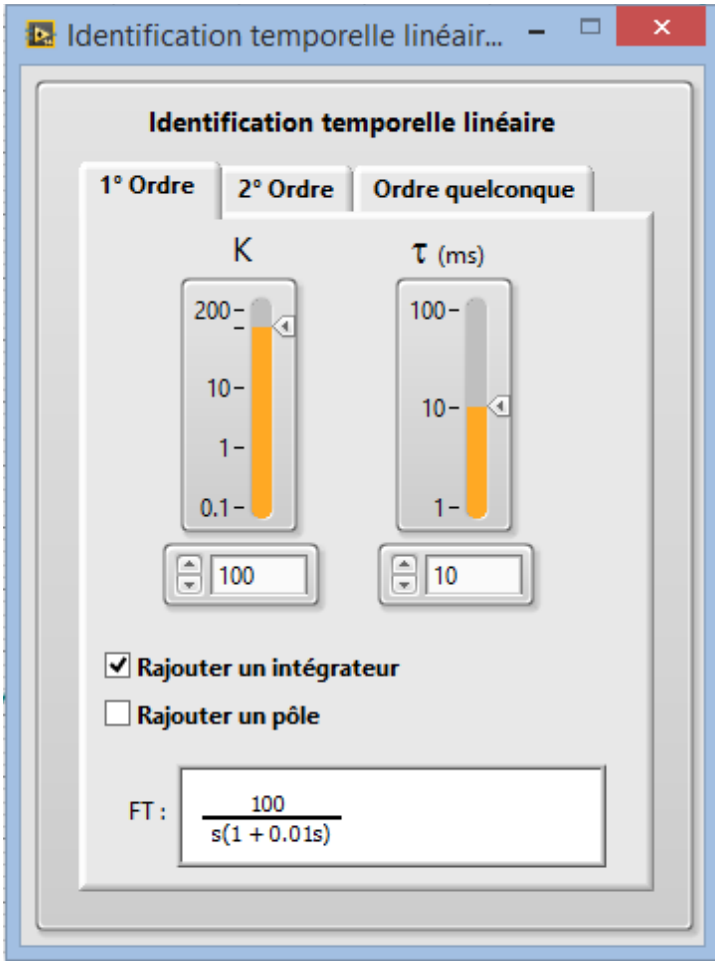


Menu "Identification"
Fenêtre d'identification temporelle linéaire
Fenêtre d'identification harmonique

Menu "Fenêtre d'identification temporelle linéaire"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Identification/Simulation"

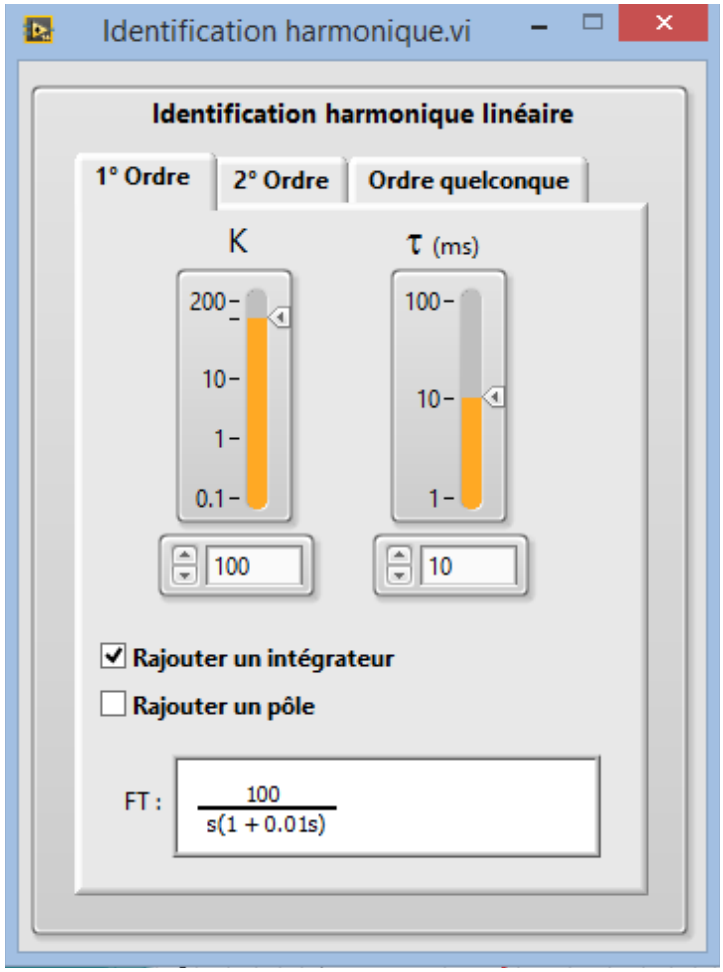
Ce menu permet de retrouver la fenêtre d'identification temporelle si celle-ci a été fermée.



Menu "Fenêtre d'identification temporelle linéaire"

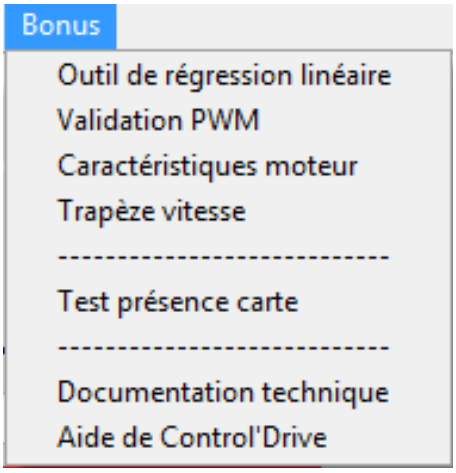
Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Identification/Simulation"

Ce menu permet de retrouver la fenêtre d'identification harmonique si celle-ci a été fermée.



Menu "Bonus"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir aux menus

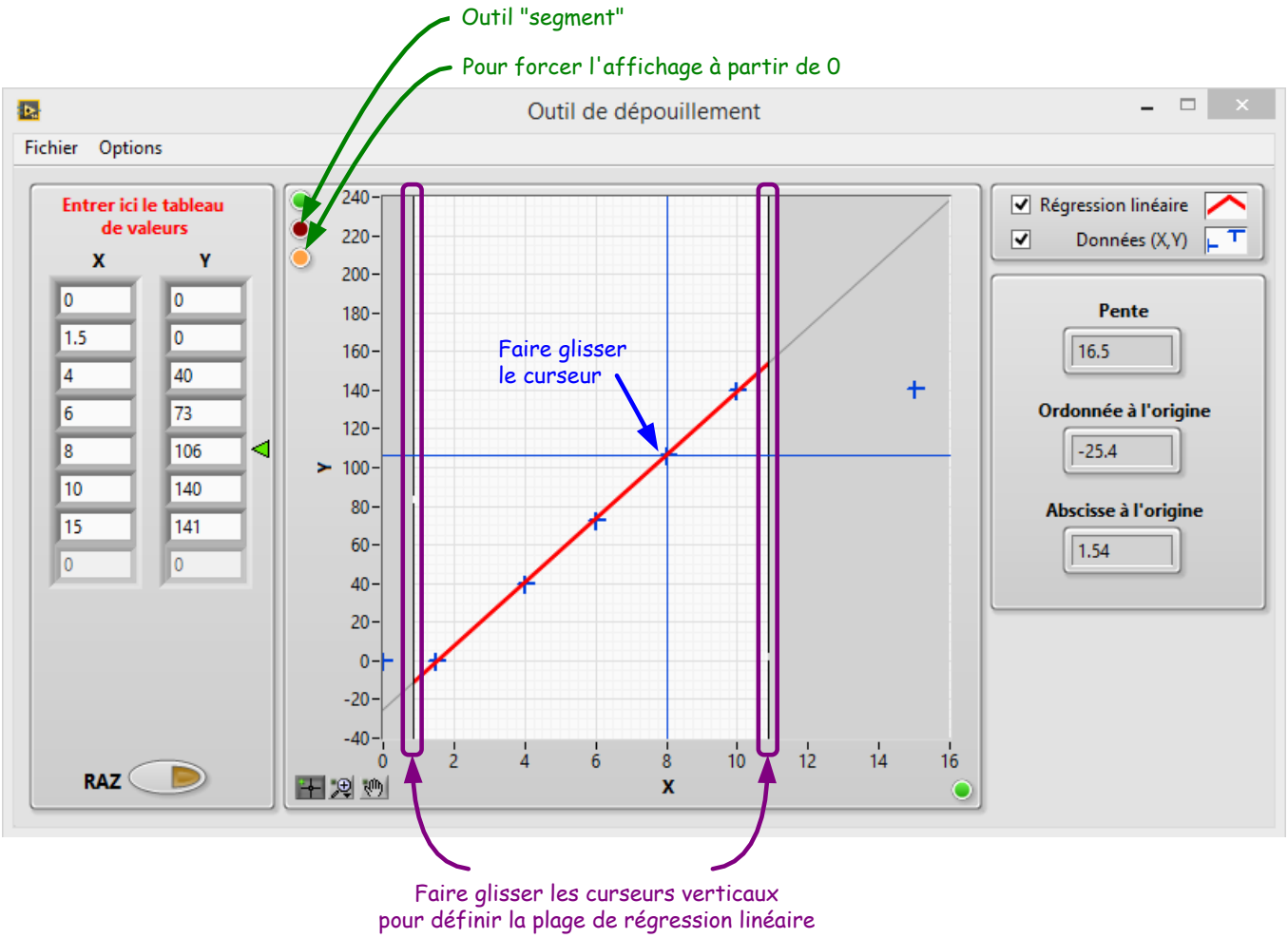


Menu "Bonus"	
Outil de régression linéaire	page 102
Validation PWM	page 104
Caractéristiques moteur	page 113
Trapèze vitesse	page 117
Test présence carte	page 118
Documentation technique	page 119
Aide de Control'Drive	page 119

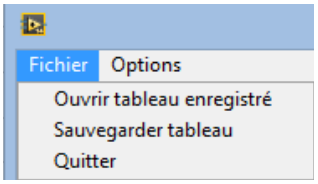
Menu "Outil de régression linéaire"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Bonus"

Ce menu permet de dépouiller des valeurs issues d'une campagne de mesure :

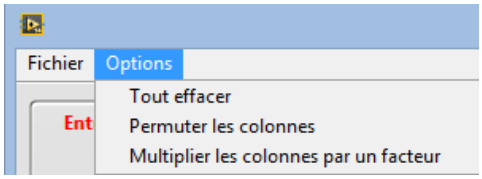


Le menu "Fichier" propose notamment d'ouvrir ou de sauvegarder des données dans un fichier texte.



Le menu "Option" permet d'effacer le tableau de valeurs X et Y, de permuter les colonnes ou de multiplier les colonnes par un facteur.

Cette dernière fonctionnalité peut être utile dans des situations où l'on a besoin par exemple d'afficher une grandeur dans une autre unité ou lorsqu'on veut par exemple convertir une grandeur en une autre : l'intensité moteur en couple moteur par exemple.

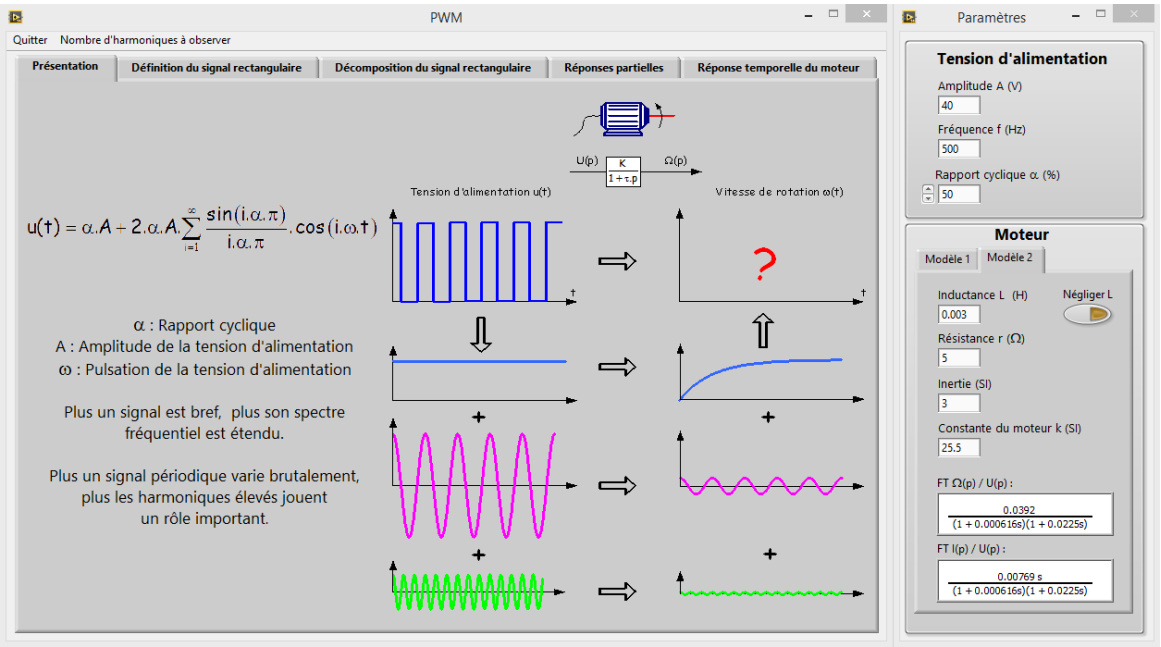


Menu "Validation PWM"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Bonus"

Ce menu permet de comprendre et de justifier le choix d'un signal PWM pour alimenter le moteur. Les deux critères principaux pris en compte sont l'ondulation de vitesse et l'ondulation de courant.

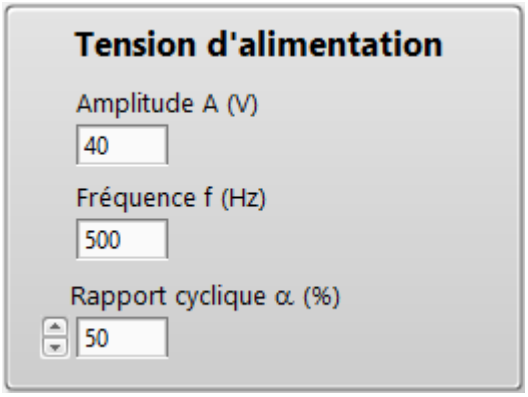
Deux fenêtres s'ouvrent :



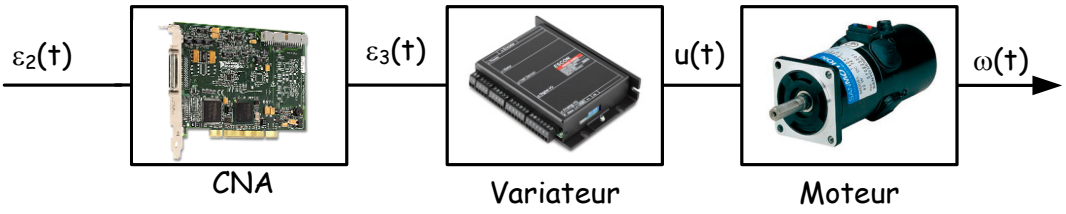
- La fenêtre "PWM" permet de découvrir le comportement du moteur alimenté par un signal PWM.
- La fenêtre "Paramètres" permet de renseigner les caractéristiques de la tension d'alimentation (tension PWM) et du moteur (2 modèles). Tous ces paramètres peuvent être modifiés à tout instant pour visualiser les conséquences sur l'un des graphes de "PWM".

Fenêtre "Paramètres"

Tension d'alimentation



Nota : Le moteur de Control'X est alimenté sous une tension PWM d'amplitude 40 V et de fréquence 53.6 kHz. Le rapport cyclique dépend de la tension moyenne à obtenir.



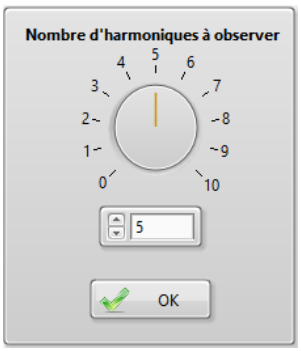
On a la correspondance (linéaire) suivante entre la tension $\varepsilon_2(t)$, le rapport cyclique $\alpha(t)$ et la tension moyenne $u_{moyenne}(t)$:

$\varepsilon_2(t) = 0$ V ➔ $\alpha(t) = 0$ et $u_{moyenne}(t) = 0$ V
$\varepsilon_2(t) = 10$ V ➔ $\alpha(t) \approx 1$ et $u_{moyenne}(t) = 40$ V

La tension u(t) est un signal PWM est décomposé en série de Fourrier :

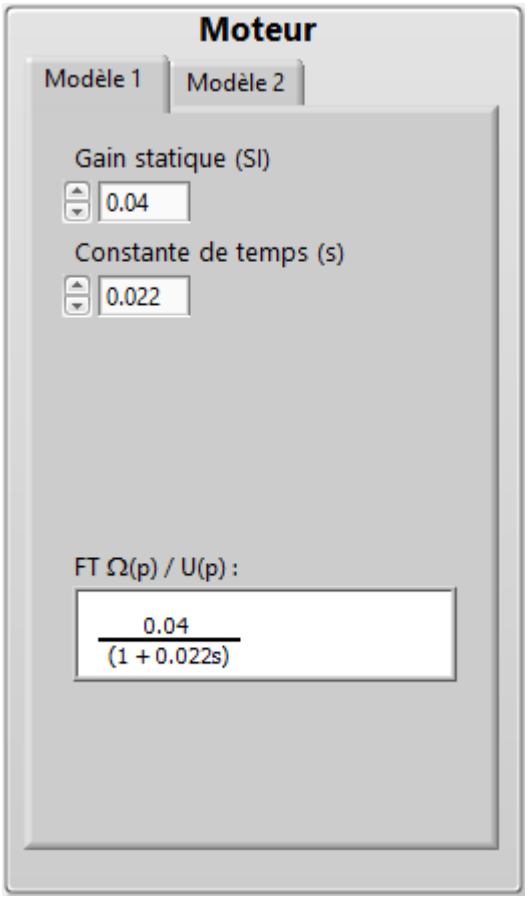
$$u(t) = \alpha.A + 2.\alpha.A.\sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin(i.\alpha.\pi)}{i.\alpha.\pi}.\cos(i.\omega.t)$$

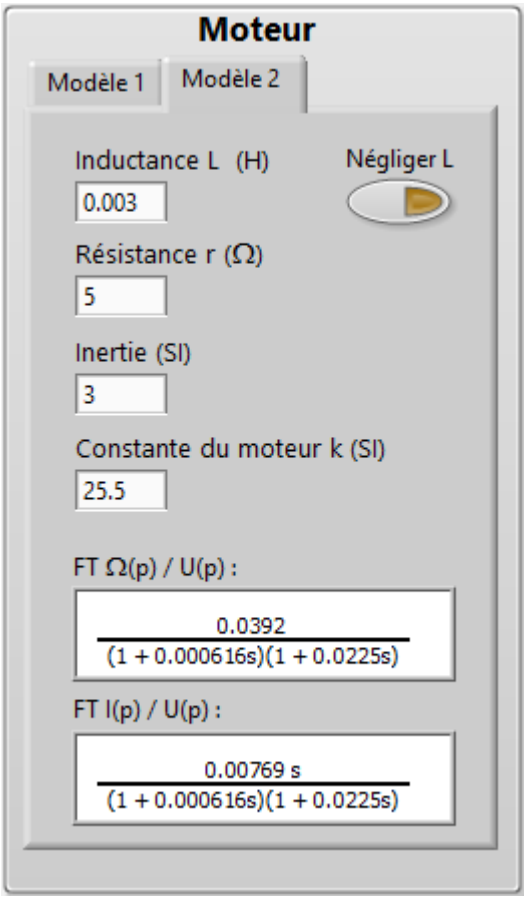
Le nombre d'harmonique à observer et réglable dans le menu "Nombre d'harmonique à observer"



Modèle de moteur

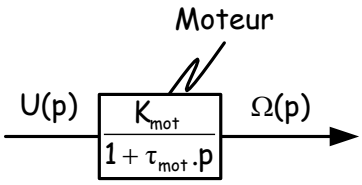
Deux modèles sont proposés :





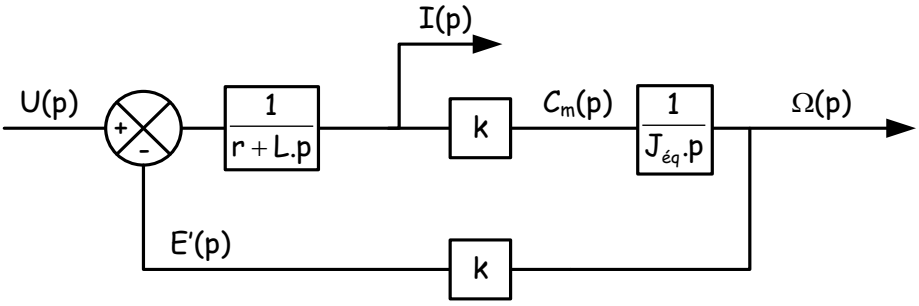
Les modèles sont les suivants :

Modèle 1 : linéaire non perturbé sans prise en compte de l'inductance, sans entrer dans le détail du moteur (la valeur du courant n'est donc pas accessible).



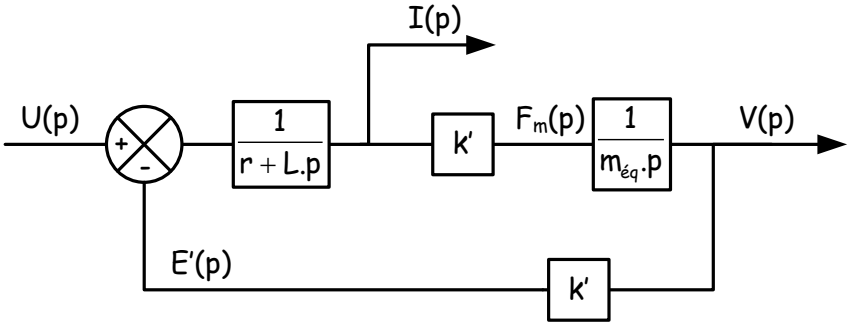
Valeurs numériques de Control'X : K_{mot} = (16 rad/s)/V et τ_{mot} = 22 ms

Modèle 2 : linéaire non perturbé avec prise en compte éventuelle de l'inductance et détail du moteur (la valeur du courant est donc accessible).



Valeurs numériques de Control'X : r = 5.1 Ω, L = 0.003 H, $J_{éq}$ = 2.15.10^{-4} kg.m^2, k = 0.21 (N.m)/A

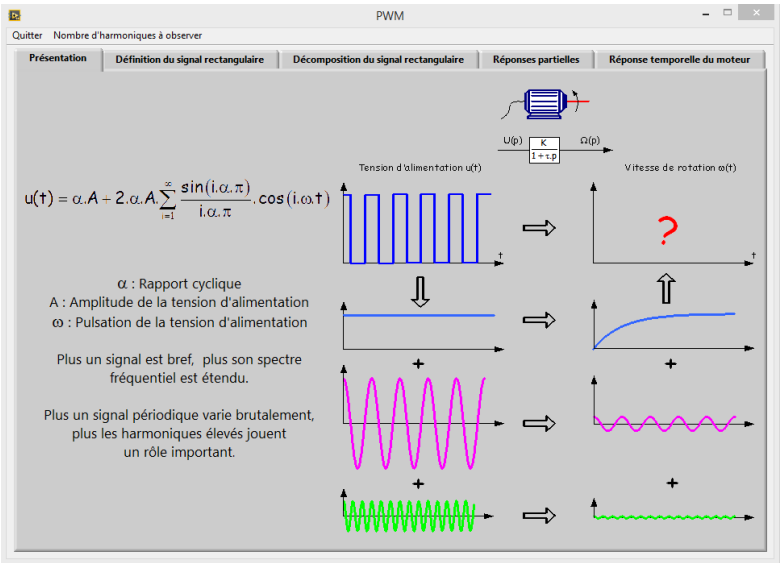
On peut aussi utiliser le paramètre k' = $\frac{k.i}{R}$ pour travailler sur le moteur linéaire équivalent :



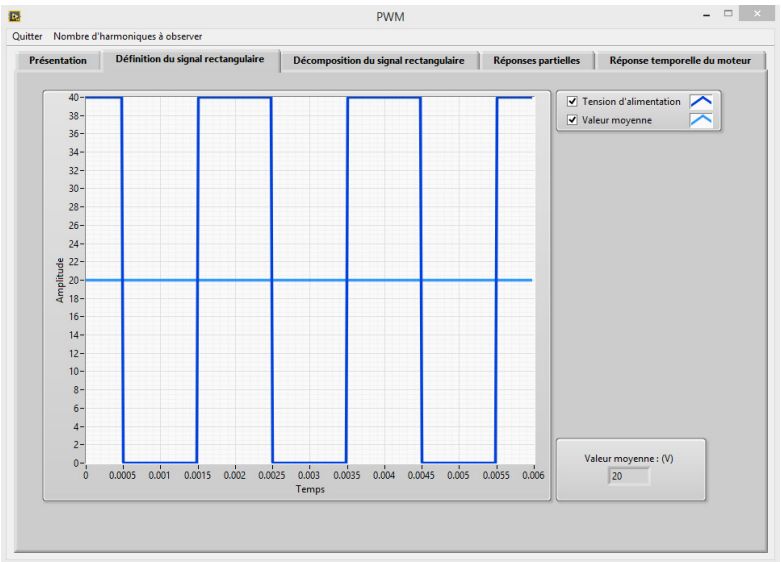
Valeurs numériques de Control'X : r = 5.1 Ω, L = 0.003 H, $m_{éq}$ = 3.2 kg, k' = 25.5 N/A

Fenêtre "PWM"

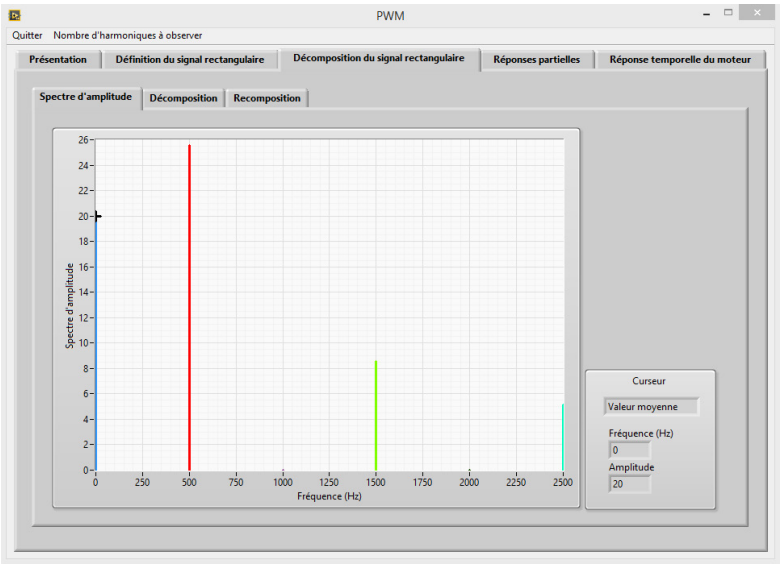
Onglet "présentation" : pour expliquer que l'on cherche à prévoir la réponse temporelle en vitesse du moteur CC lorsqu'un signal PWM lui est appliqué. Les seules réponses faciles à connaître étant les réponses partielles aux différents termes sinusoïdaux de la décomposition en série de Fourrier du signal PWM.



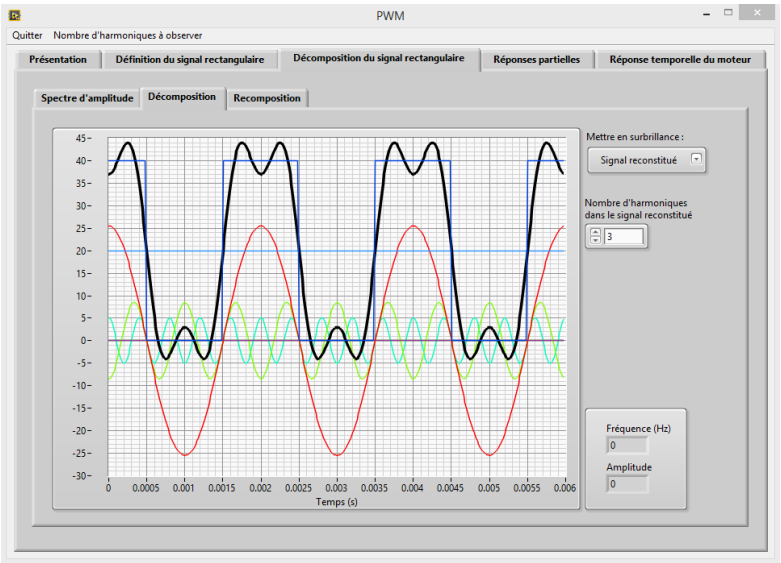
Onglet "Définition du signal rectangulaire" : pour expliquer ce qu'est un signal PWM. Modifier le rapport cyclique et la fréquence du PWM pour observer l'allure du signal.



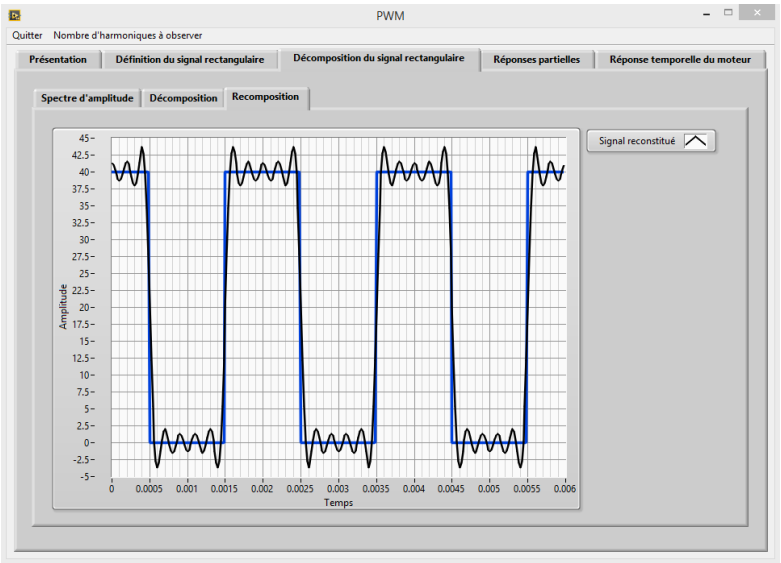
<u>Onglet " Décomposition du signal rectangulaire" :</u> pour analyser les termes de la décomposition en série de Fourrier du signal PWM d'un point de vue fréquentiel et temporel.



Spectre d'amplitude du signal PWM
Faire varier les paramètres de la tension d'alimentation par exemple

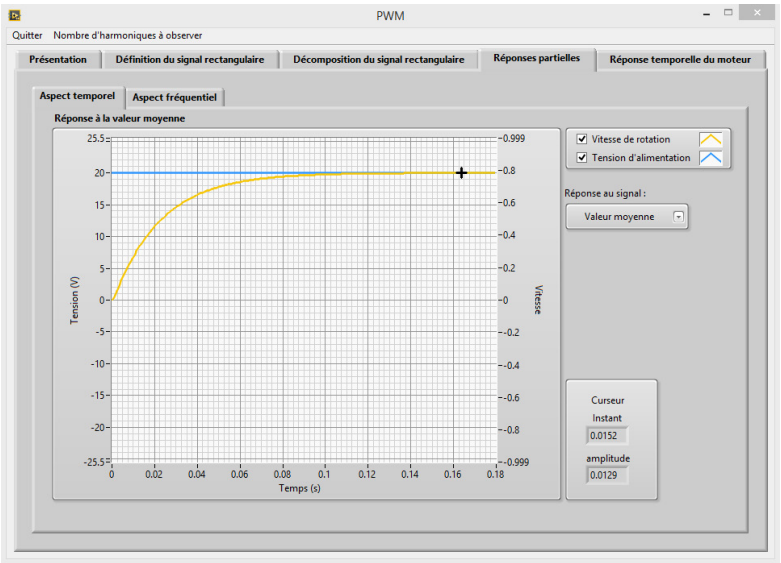


Signal en cours de reconstitution



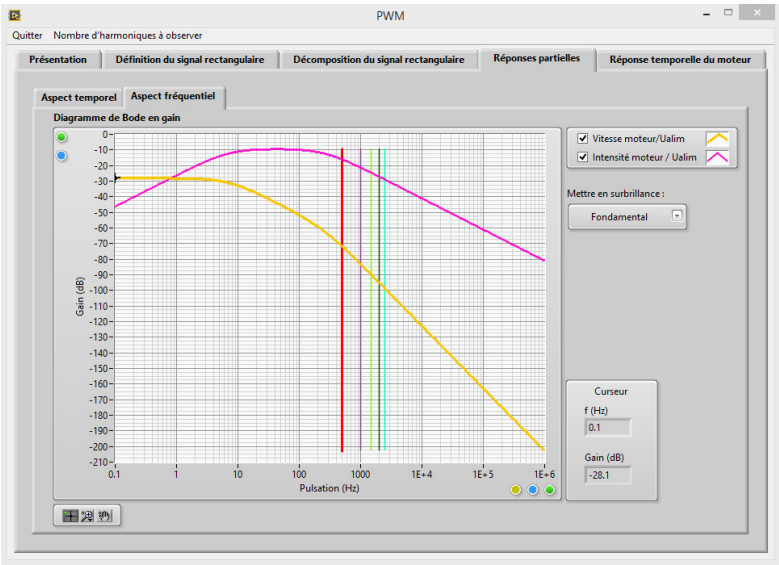
Signal reconstitué

<u>Onglet : " Réponses partielles" :</u> pour observer les réponses partielles temporelles et fréquentielles du moteur au signal PWM d'entrée.



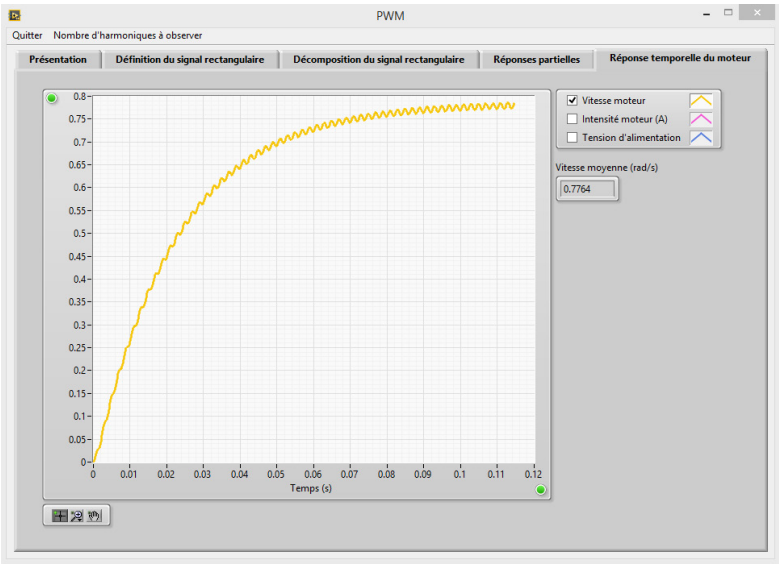
Réponse temporelle à la valeur moyenne

<u>Nota :</u> Les échelles sont fixes pour observer des amplitudes comparables entre un harmonique et le suivant.

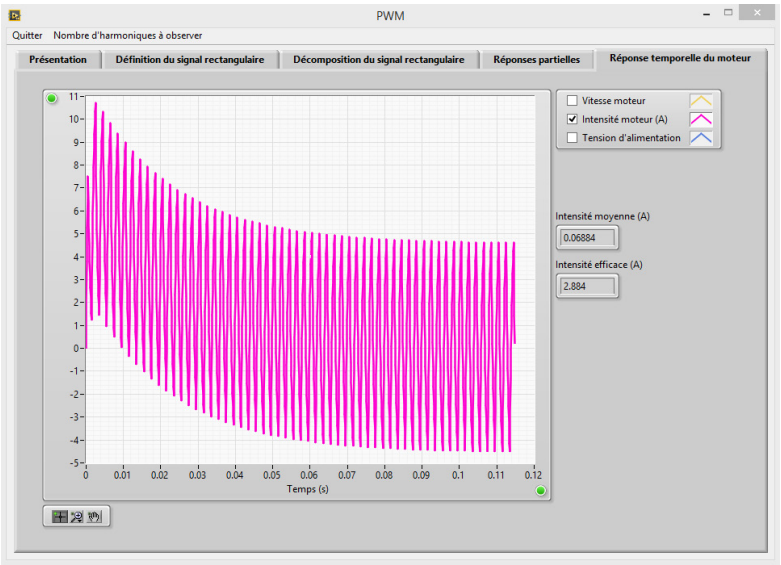


Réponse fréquentielle en vitesse ou en courant

<u>Onglet "Réponse temporelle du moteur" :</u> pour observer la réponse temporelle du moteur au signal PWM : réponse en vitesse ou en courant.



Réponse temporelle en vitesse au signal PWM



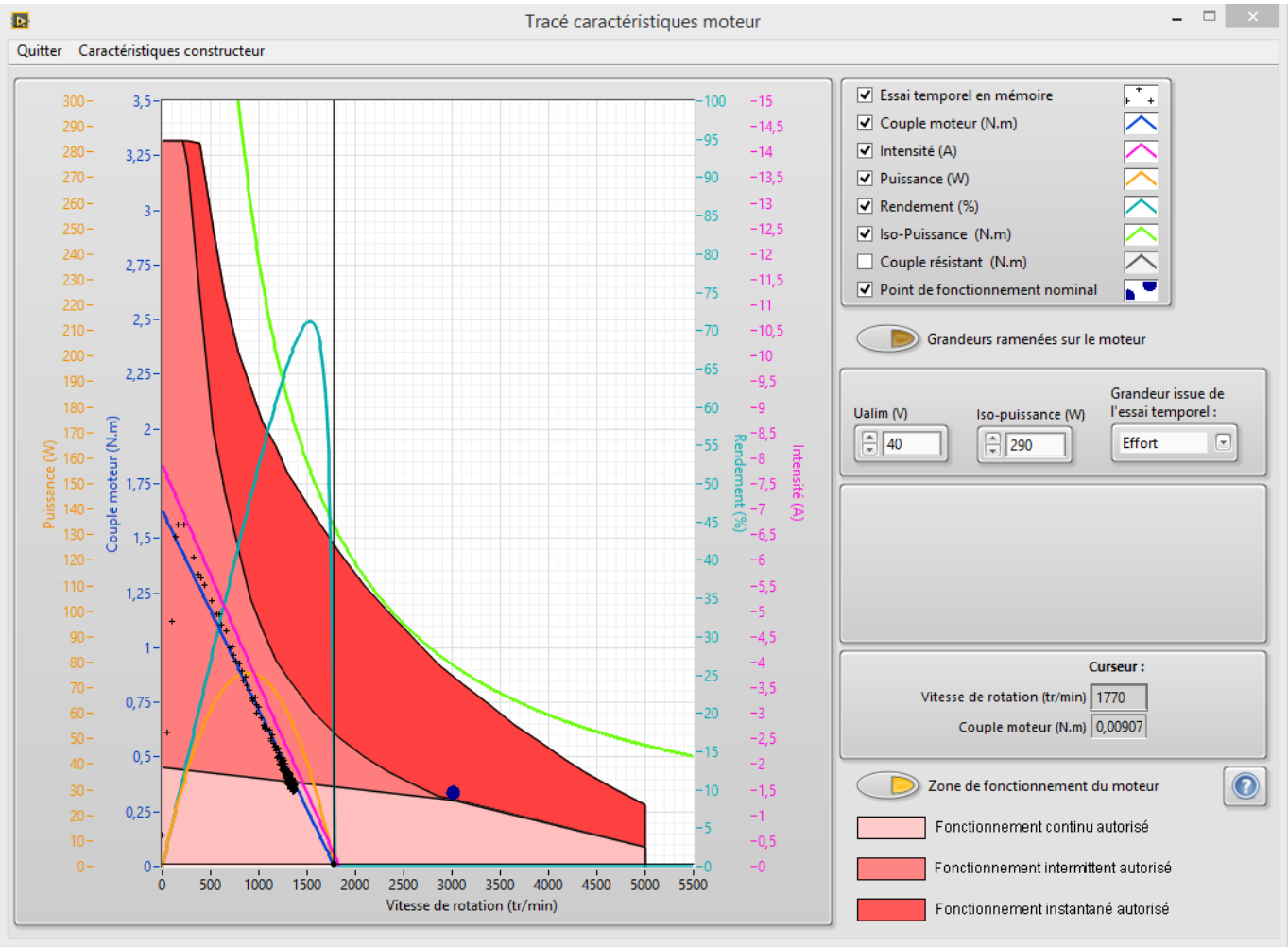
Réponse temporelle en courant au signal PWM

Menu "Caractéristiques moteur"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Bonus"

Ce menu permet d'illustrer la notion de courbe caractéristique du moteur, de point de fonctionnement, de puissance, d'iso puissance, de rendement.

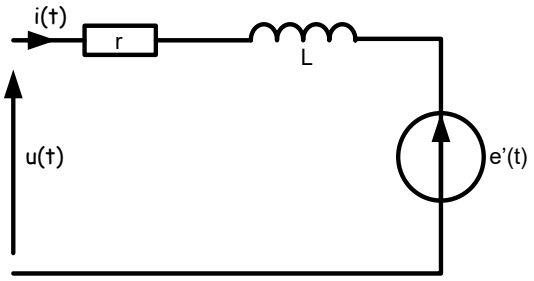
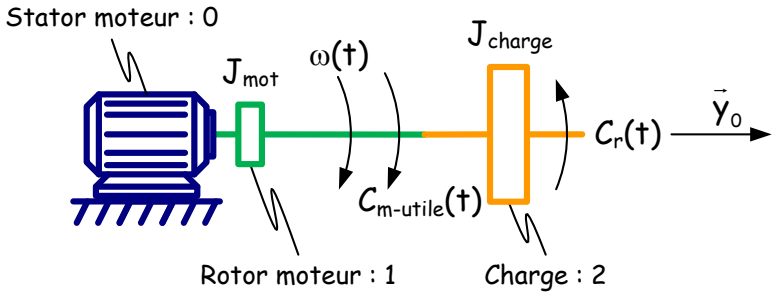
L'analyse se limite au premier quadrant ($C_{moteur} \geq 0$ et $\omega_{moteur} \geq 0$) ou ($F_{moteur} \geq 0$ et $v_{moteur} \geq 0$)



Essai en boucle ouverte sous une tension moteur de 40V

Modèle de moteur utilisé :

Le tracé de la courbe caractéristique du moteur est la courbe du couple moteur utile $C_{m\text{-}utile}$ (le couple disponible en sortie de moteur) en fonction de sa vitesse ω. Elle est tracée à partir du modèle suivant **en se plaçant en régime permanent** : $\omega(t)$ = cste.

Schéma électrique équivalent	Schéma mécanique équivalent
	
Equation électrique : $u(t) = r.i(t) + L.\dfrac{di(t)}{dt} + e'(t)$	**Paramétrage :** $\vec{C}_{(moteur\to rotor)} = C_m(t).\vec{y}_0$: couple électromagnétique $\vec{C}_{(moteur\text{-}utile\to charge)} = C_{m\text{-}utile}(t).\vec{y}_0$: couple moteur utile (le couple propre à entraîner la charge) $\vec{C}_{(ext\to charge)} = -\,C_r(t).\vec{y}_0$ $\vec{\Omega}_{1/0} = \omega(t).\vec{y}_0$ **Equations dynamiques :** $C_{m\text{-}utile}(t) = C_m(t) \mp C_{frott\text{-}moteur} - f_{\omega\text{-}moteur}.\omega(t) - J_{mot}.\dot{\omega}(t)$ ou $C_{m\text{-}utile}(t) - C_r(t) = J_{charge}.\dot{\omega}(t)$

Couplages électro-mécaniques

$C_m(t) = k_c.i(t)$

Domaine électrique ⇄ Domaine mécanique

$e'(t) = k_e.\omega(t)$

Les valeurs de r, L, k_c, k_e, $C_{frott\text{-}moteur}$ et $f_{\omega\text{-}moteur}$ sont celles données dans le catalogue constructeur du moteur :

Grandeur	Valeur constructeur
r	5.1 Ω
L	3.2×10^{-3} H
k_c	0.21 (N.m)/A
k_e	0.2083 V/(rad/s)
$C_{frott\text{-}moteur}$	0.022 N.m
$f_{\omega\text{-}moteur}$	0.124×10^{-3} (N.m)/(rad/s)

Sous une tension d'alimentation U_{alim} **constante** on obtient, **en régime permanent**, les grandeurs suivantes : couple moteur utile, intensité moteur, puissance mécanique moteur, rendement moteur :

$$\begin{cases} C_{m-utile} = \dfrac{k_c.U_{alim}}{r} \mp C_{frott-moteur} - \left(f_{\omega-moteur} + \dfrac{k_c.k_e}{r}\right).\omega \\ i = \dfrac{U_{alim} - k_e.\omega}{r} \\ P_{méca} = C_{m-utile}.\omega = \left(\dfrac{k_c.U_{alim}}{r} \mp C_{frott-moteur}\right).\omega - \left(f_{\omega-moteur} + \dfrac{k_c.k_e}{r}\right).\omega^2 \\ \eta = 100.\dfrac{C_{m-utile}.\omega}{U_{alim}.i} = 100.\left[\dfrac{k_c.\omega}{U_{alim}} - \dfrac{\left(\pm C_{frott-moteur} + f_{\omega-moteur}.\omega\right).r.\omega}{U_{alim}.\left(U_{alim} - k_e.\omega\right)}\right] \end{cases}$$

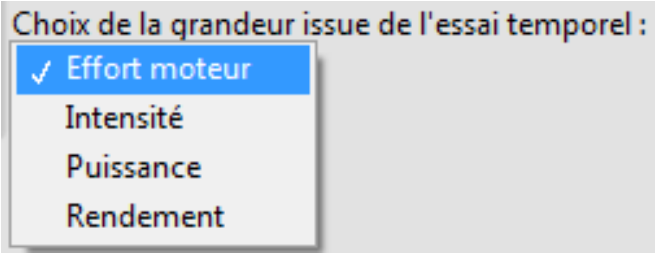
La tension d'alimentation nominale du moteur est de 75 V

A propos du grandeurs issues de l'essai temporel en mémoire :

Les résultats de l'essai temporel en mémoire peuvent être rapatriés.

On rappelle qu'un essai temporel archivé peut être chargé en mémoire à tout instant (Menu "Analyse temporelle", "Ouvrir un essai temporel" de Control'Drive).

On peut alors tracer une des grandeurs suivantes :



Le couple moteur utile, la puissance et le rendement moteur issu de l'essai temporel en mémoire sont calculés à partir des grandeurs mesurées : i, U_{alim} et ω selon les formules :

$$\begin{cases} C_{m-utile} = k_c.i \mp C_{frott-moteur} - f_{\omega-moteur}.\omega \\ P_{méca} = C_{m-utile}.\omega \\ \eta = 100.\dfrac{C_{m-utile}.\omega}{U_{alim}.i} \end{cases}$$

Ces grandeurs tiennent compte des frottements internes au moteur (valeurs du frottement sec $C_{frott-moteur}$ et du coefficient de frottements visqueux $f_{\omega-moteur}$ annoncés par le constructeur du moteur) mais pas du moment dynamique du rotor moteur.

Il faut se méfier de certaines interprétations car les grandeurs rapatriées depuis l'essai temporel en mémoire ne sont pas toutes mesurées en régime permanent.

Toutes les grandeurs peuvent être observées en se plaçant du côté du chariot :

Les conversions suivantes sont alors utilisées :

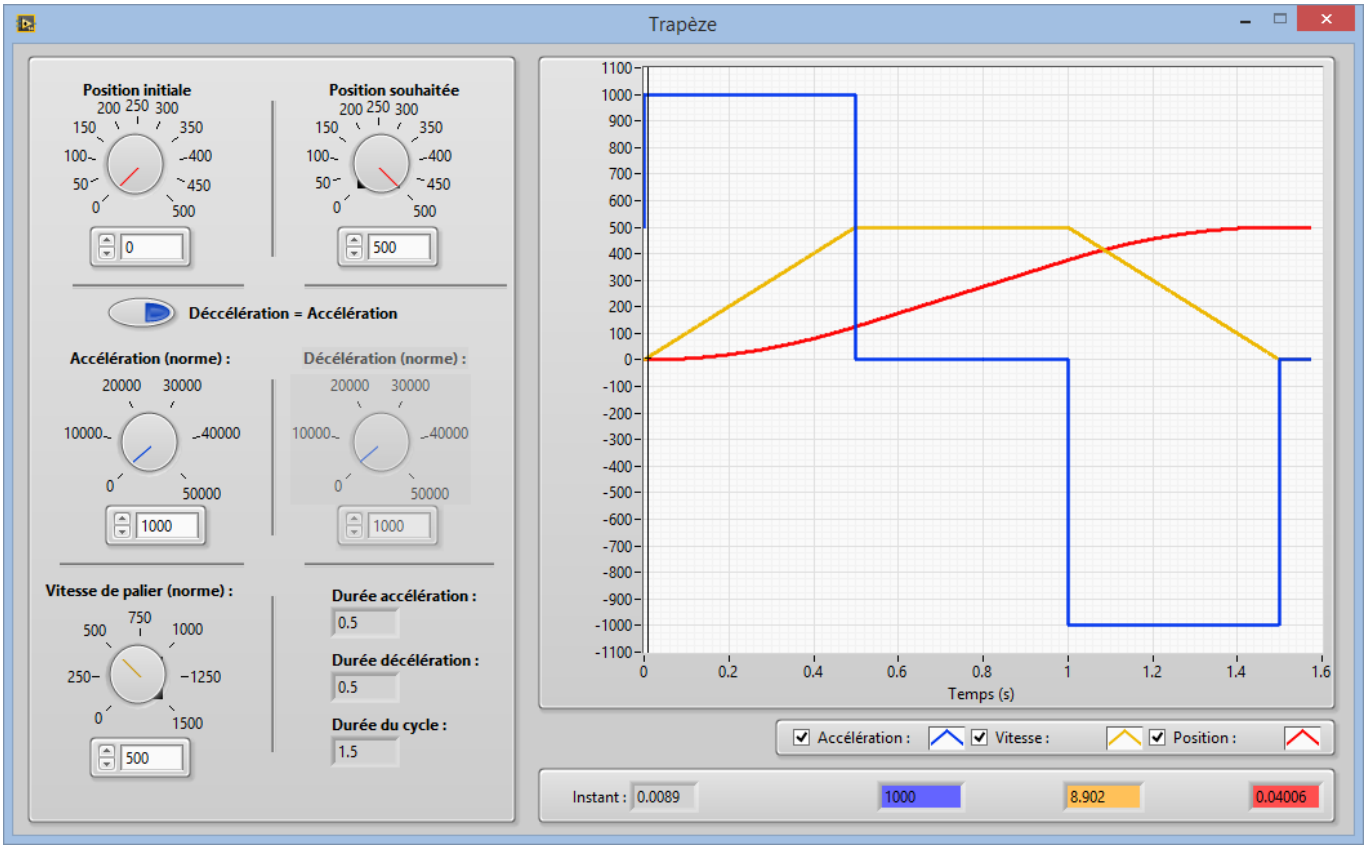
$$v_m = \frac{R}{i}.\omega \text{ et } F_m = \frac{i}{R}.C_m$$

où R est le rayon primitif des poulies crantées et i le rapport de réduction.

Menu "Trapèze vitesse"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Bonus"

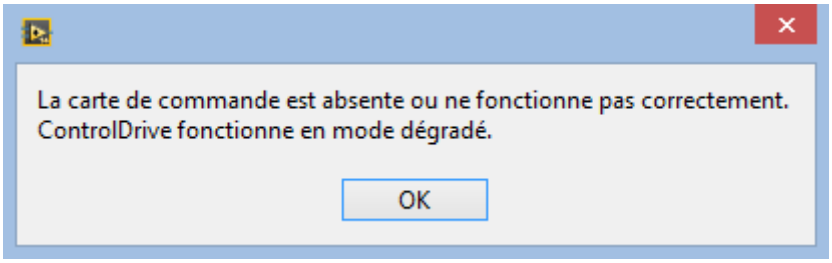
Ce menu permet d'effectuer des calculs de durées de cycle sur des pilotages de type trapèze de vitesse.



Menu "Test présence carte"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Bonus"

Cette fonction permet de tester la présence de la carte de commande et son bon fonctionnement.
Cette fonction est utile pour diagnostiquer un éventuel problème matériel.



Menu "Documentation technique"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Bonus"

Il s'agit de la documentation de Control'X au format pdf.

Menu "Aide de Control'Drive"

Ctrl + clic pour revenir au sommaire
Ctrl + clic pour revenir au menu "Bonus"

Il s'agit de ce présent document (Notice de Control'Drive) au format pdf.