



School of Engineering

HEI-Vs Engineering School - Industrial Automation Base

Cours AutB

Author: [Cédric Lenoir](#)

LAB 05 Mise en service d'un axe électrique avec une vis à bille.

Job start with:

CtrlX Drive Engineering

Ce logiciel est conçu pour:

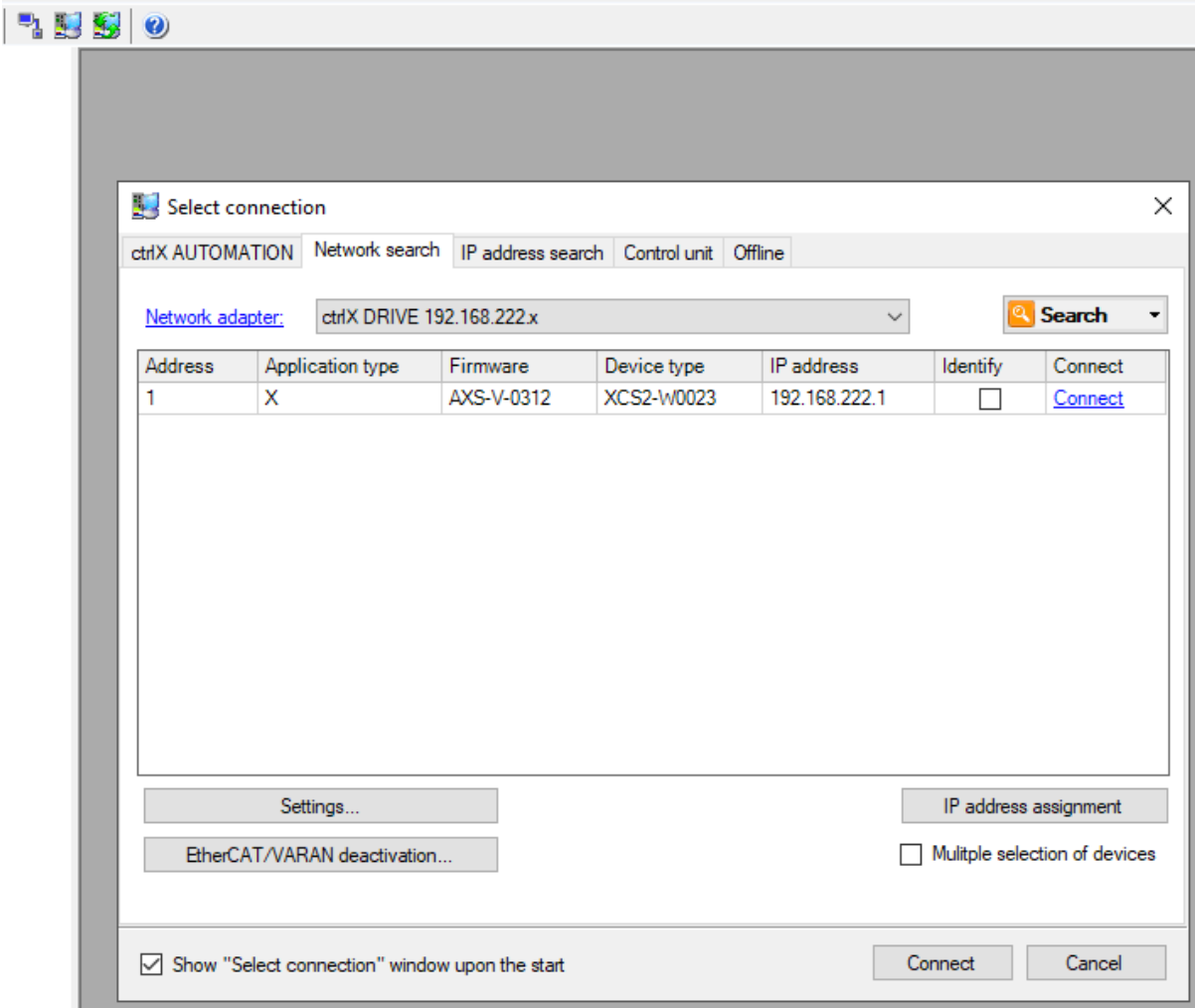
- Visualiser et si nécessaire modifier les paramètres des axes électriques.
- Visualiser le comportement de l'axe à l'aide d'un oscilloscope intégré.
- Piloter l'axe en mode manuel pour optimiser son comportement.
- Lancer une procédure de **Auto-Tuning**.



Use CtrlX Drive Engineering

Connect

Se connecter au drive avec USB-C, utiliser l'axe X. Si possible en utilisant son propre PC pour garder le PC labo libre.



Connection to drive with USB-C

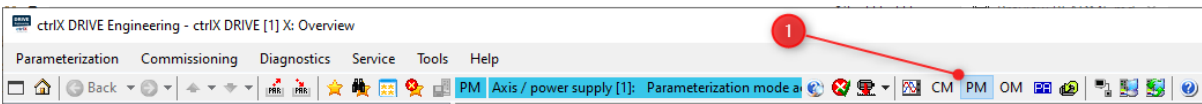
Il est possible de se connecter de différentes manières.

Backup

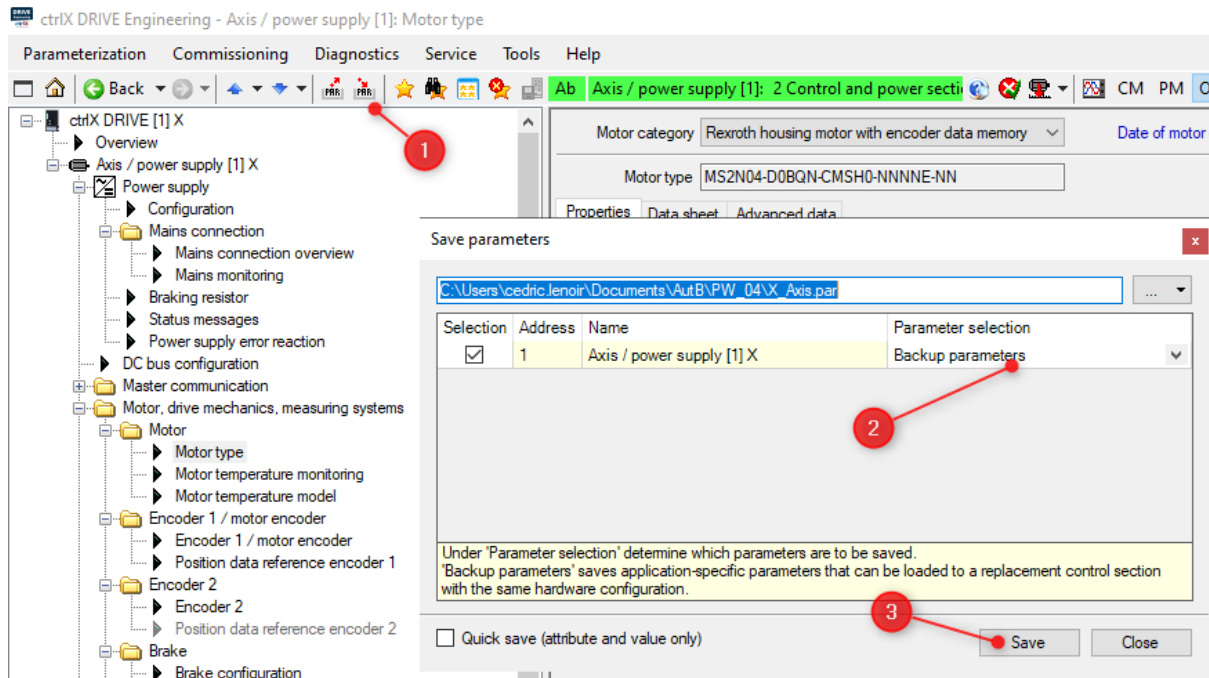
Sauvegarder les paramètres actuels pour pouvoir les restaurer si nécessaire.

Avant de sauvegarder les paramètres, il est préférable de passer en mode PM, Parameter Mode. Pour cela, le moteur ne doit pas être sous tension.

SelectParameterMode



Set Axis in PM, Parameter Mode

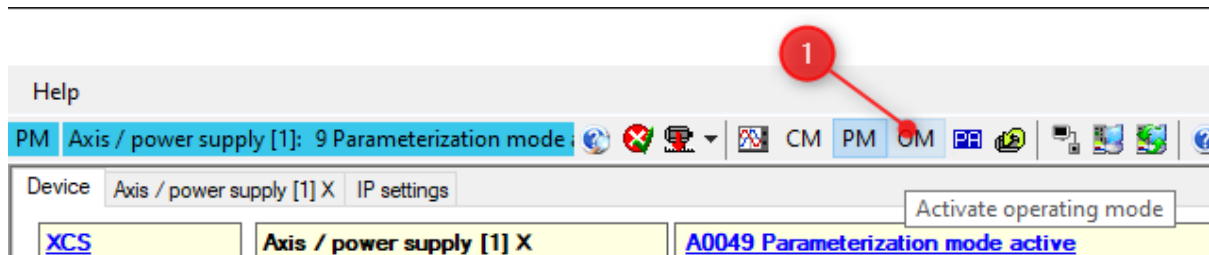


Save a backup of drive parameters to restore them if needed

Les paramètres sont numérotés selon le système [Sercos](#). Une multitude de paramètres sont accessibles en Realtime ou Non Realtime, en lecture ou en écriture. Certains paramètres ne peuvent être modifiés que quand le moteur est hors couple, voir même quand le drive est en mode Paramter.

- **Backup parameters** pour les paramètres de configuration.
- **All parameters**, archive absolument tous les paramètres. Ceci est utile pour faire un diagnostic, ou dans le cadre d'un cours pour présenter un axe uniquement sous forme de paramètres.

Après avec archivé les paramètres, restaurer le mode OM.

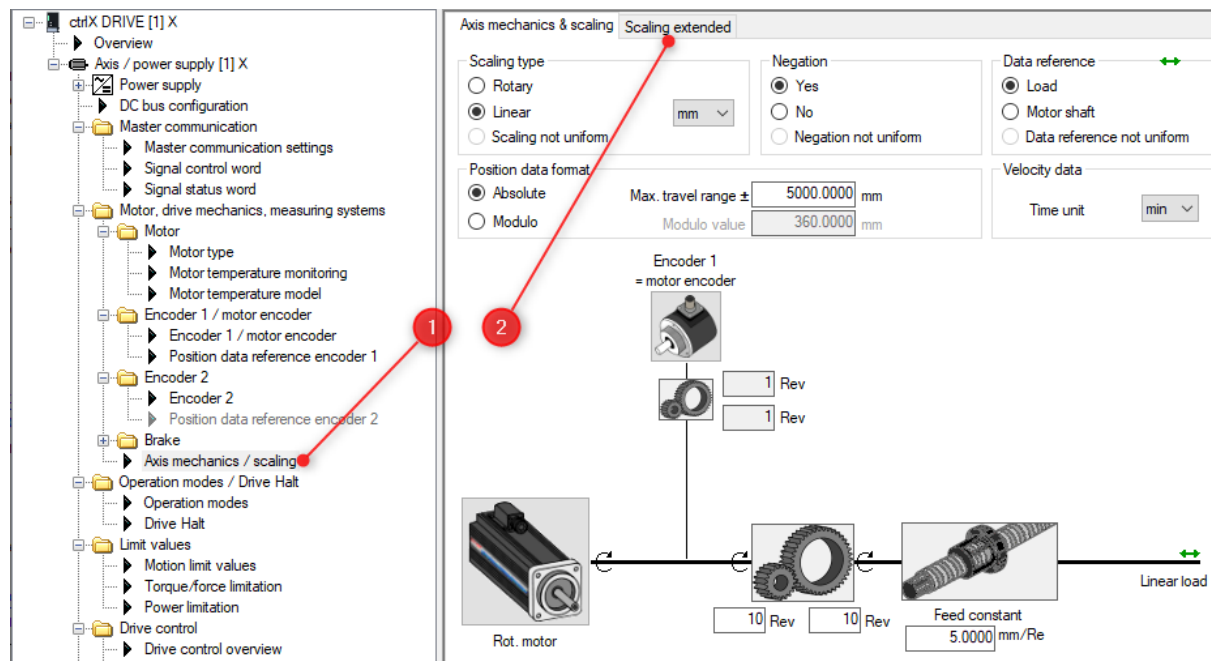


Restore OM Operating Mode

Scaling

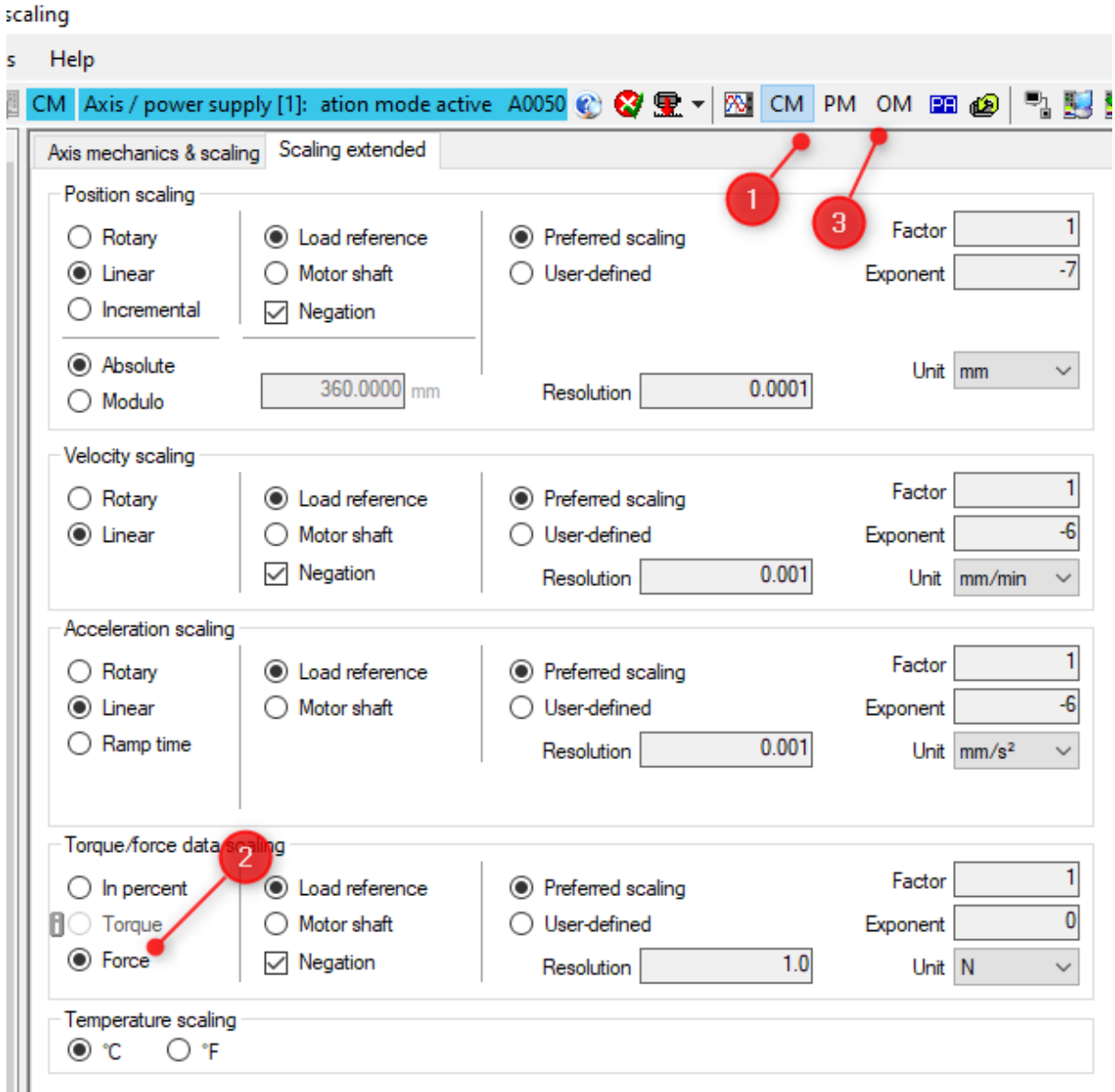
L'axe doit connaitre les paramètres mécaniques du système pour pouvoir convertir la position du codeur en unités qui conviennent à l'application.

Dans notre cas de figure, la position du codeur est convertie, entre autre, en mm pour la position linéaire de l'axe X.



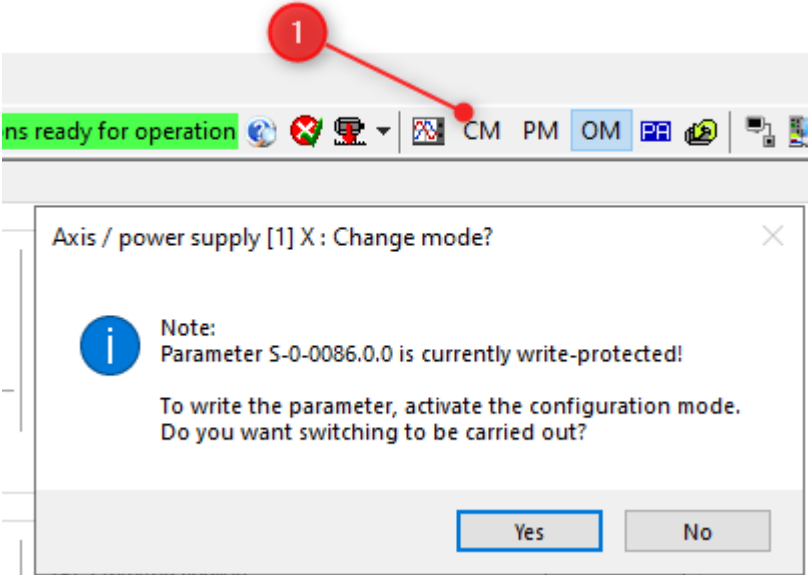
Go to Axis Mechanical Scaling

Pour faciliter l'interprétation des résultats, nous modifions un paramètre afin que le système convertisse le couple du moteur en Force pour la lecture de l'effort linéaire en sortie de la vis à bille.



Change scaling to force

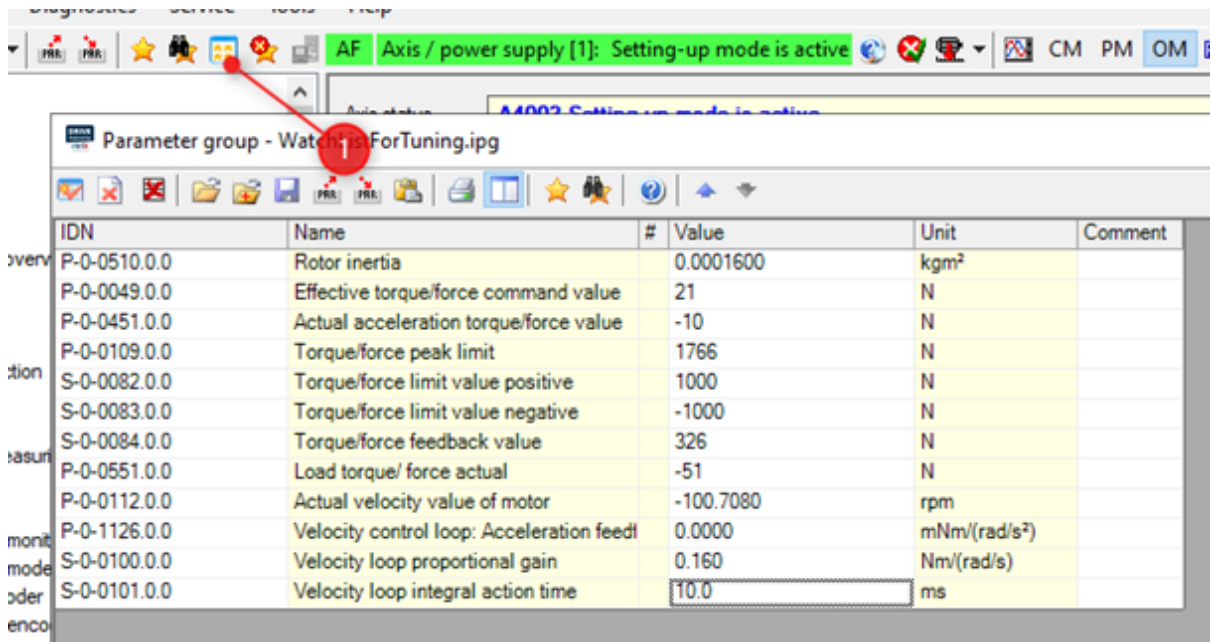
Il faut noter qu'un changement d'unité ne peut pas se faire sous n'importe quelle condition. L'axe doit être en mode **CM**, **Configuration Mode**, pour autoriser un changement d'unité.



You must be in Configuration Mode to modify a scaling parameter

Modification des limites

Le système ne sait pas convertir correctement les limites lors du changement d'unités de couple vers force. Il faut modifier les limites de force, sous peine de ne pas réussir à utiliser l'axe !



Display some parameters used for this lab

Vous pouvez sauver la liste des paramètres à afficher. Fichier de type ipg. Vous pouvez aussi utiliser le fichier fournit avec les documents, voir: `..\ctrlxDriveFiles\WatchListForTuning.ipg`.

Vous pouvez modifier les limites soit dans cette liste de paramètres, attention, il faut être en mode **PM**. Soit aller dans la fenêtre des limites mentionnée en introduction.

Les limites à modifier

- `P-0-0109.0.0` : 1766
- `S-0-0082.0.0` : 1500
- `S-0-0083.0.0` : -1500

Le système ne fait pas automatiquement une conversion Coule/Force au niveau des limites quand on change d'unité, c'est pourquoi ces limites doivent être adaptées si on change d'unité.

Si ces limites sont trop faibles le système ne pourra pas travailler correctement, en particulier lors des phases d'accélération et de décélération.

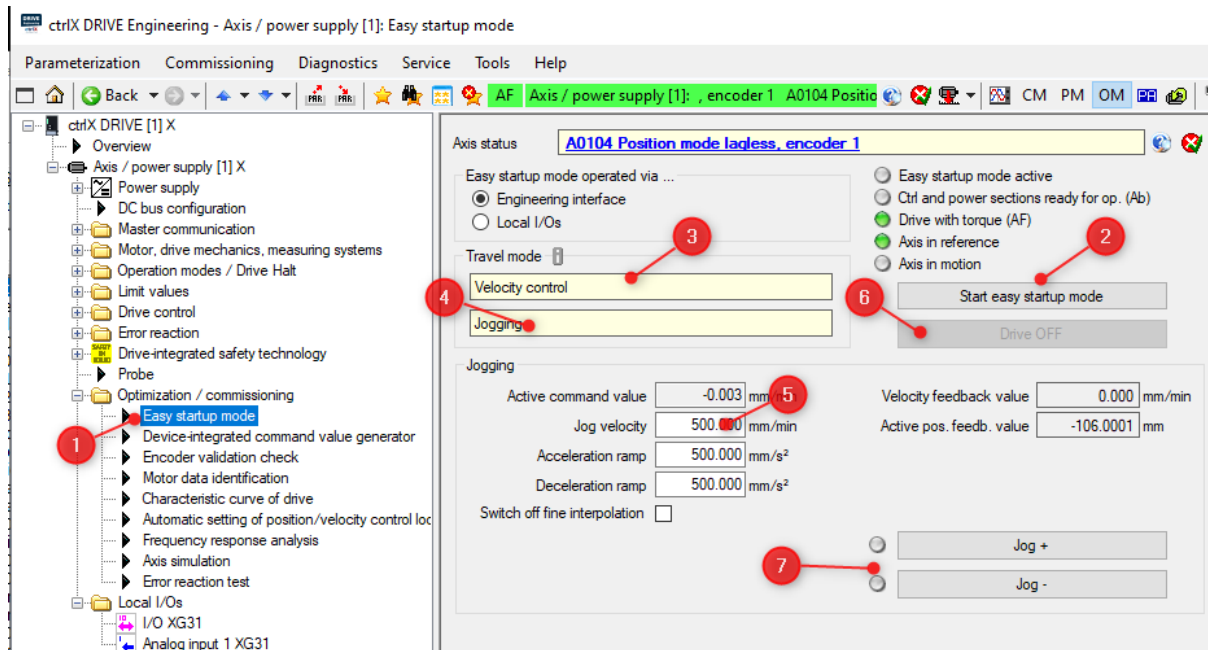
A contrario, si ces limites sont trop grandes, il y a un risque d'endommager la mécanique.

Calculer la force théorique maximale de la vis à bille. A la force théorique il faudrait multiplier le rendement de la vis à bille, **estimée entre 0.5 et 0.9**. A mettre dans votre rapport.

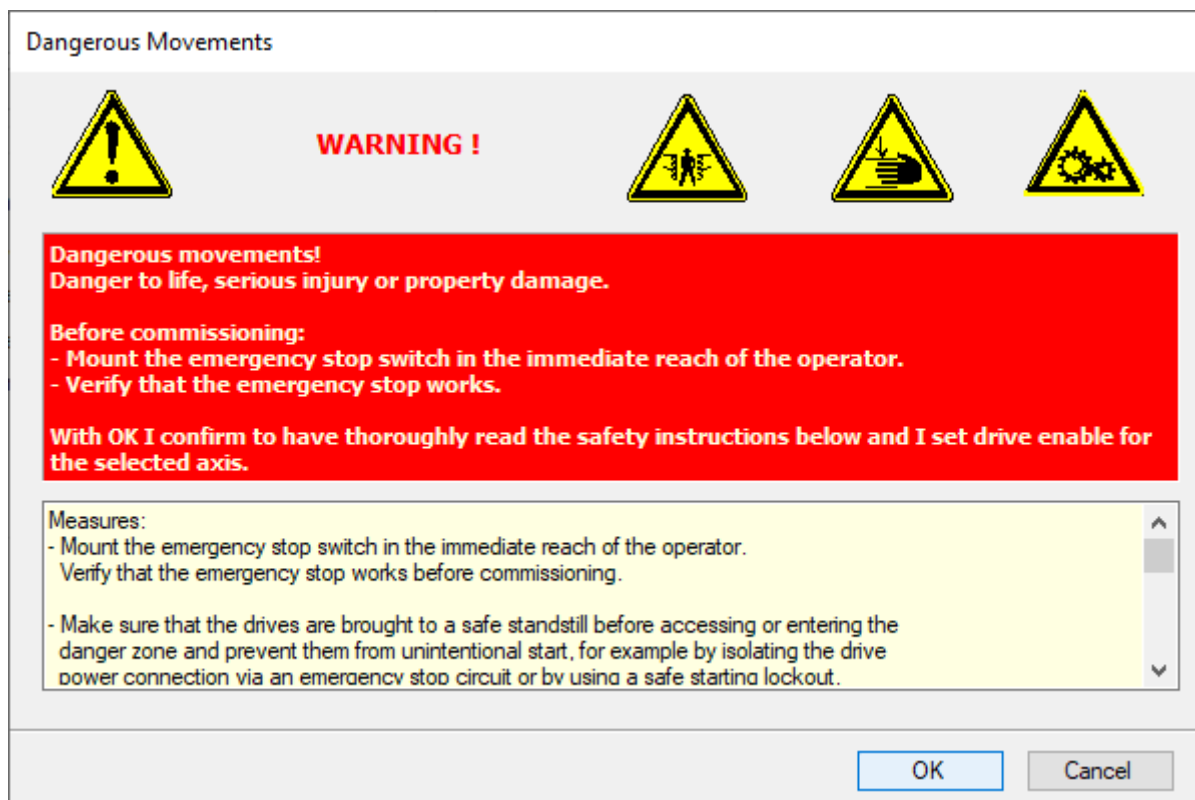
On connaît les caractéristiques de la vis à bille.

Axe	Smax [mm]	u[mm/U]	Vmax[m/s]	amax [m/s2]	Mmax[Nm]	d	i
x	565	5.0	0.3	15	8.22	ccw	1

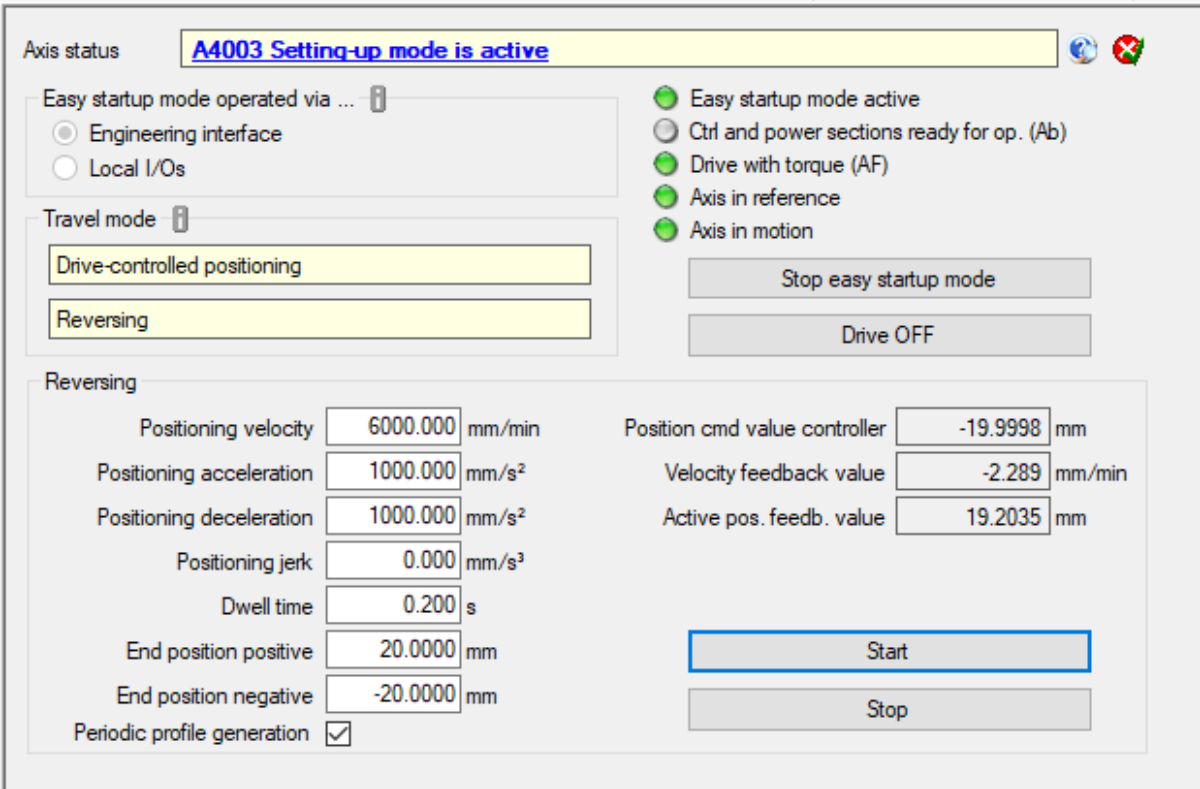
Piloter le moteur en mode manuel



You should be able to move your motor with that



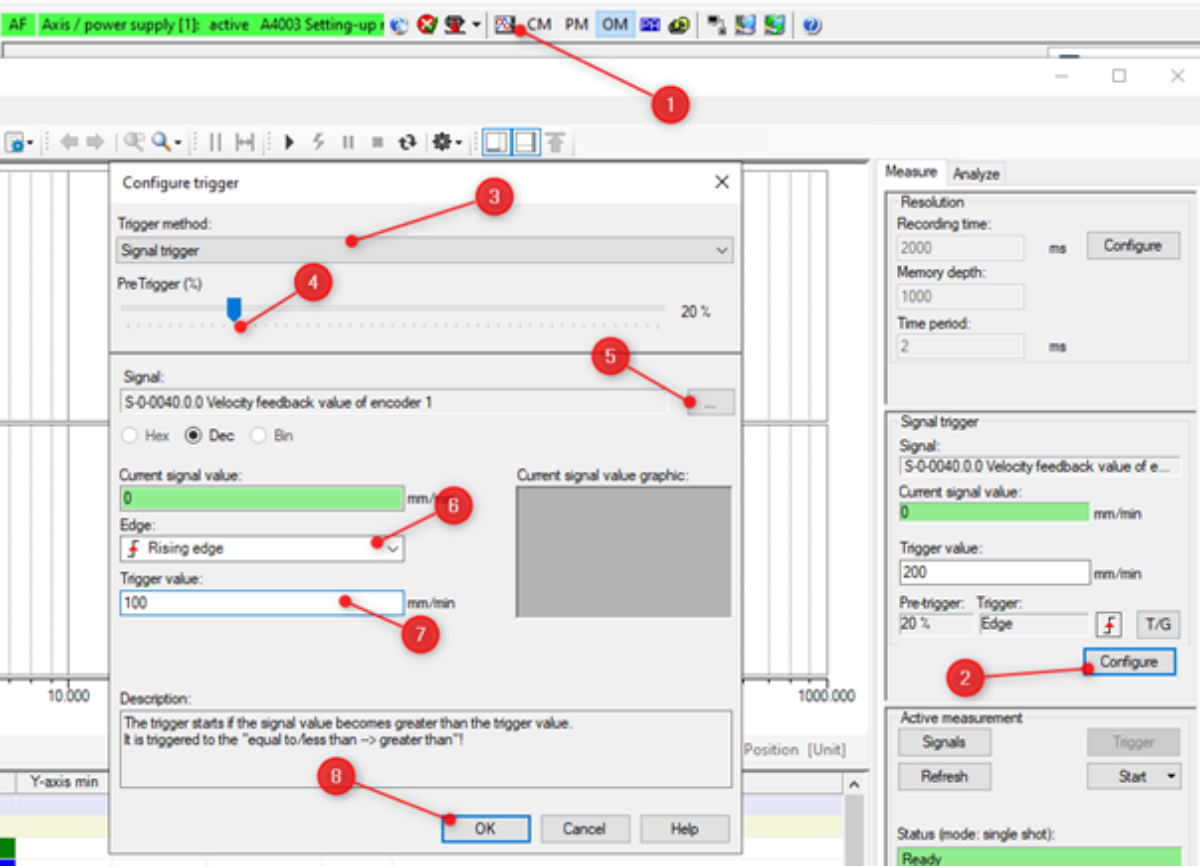
Only for info, click OK



Start your first motion in Drive Controlled positionning

Trace data

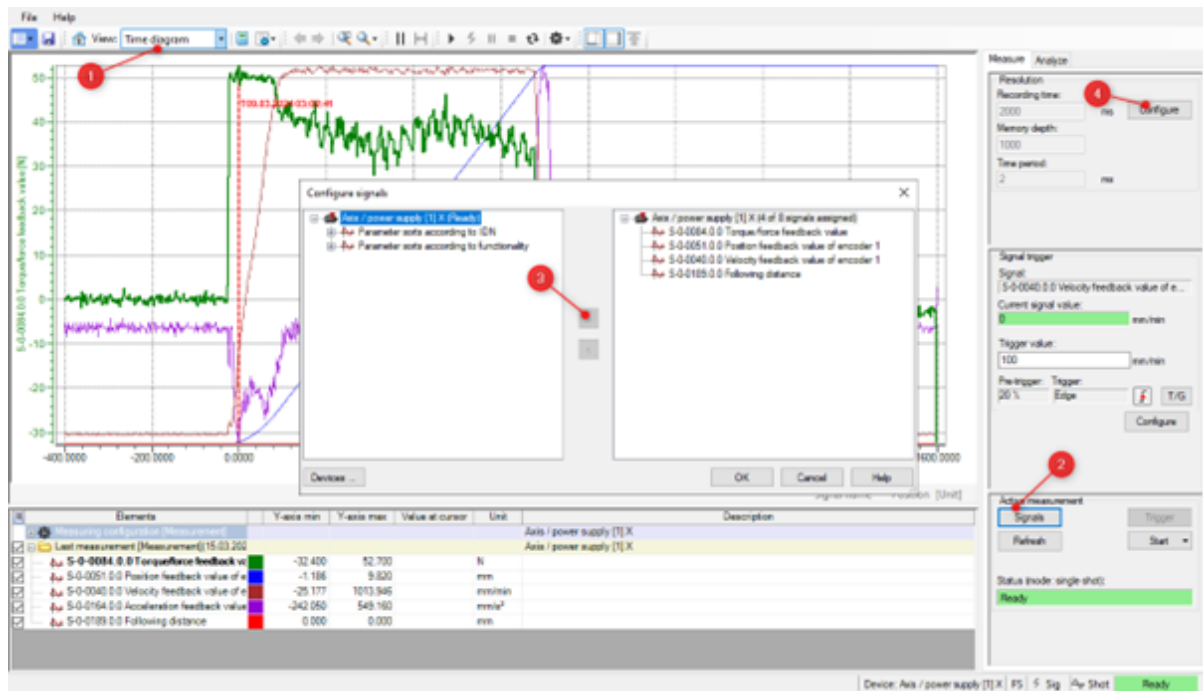
Tracer une courbe classique Position, vitesse, accélération ou torque et erreur de poursuite.



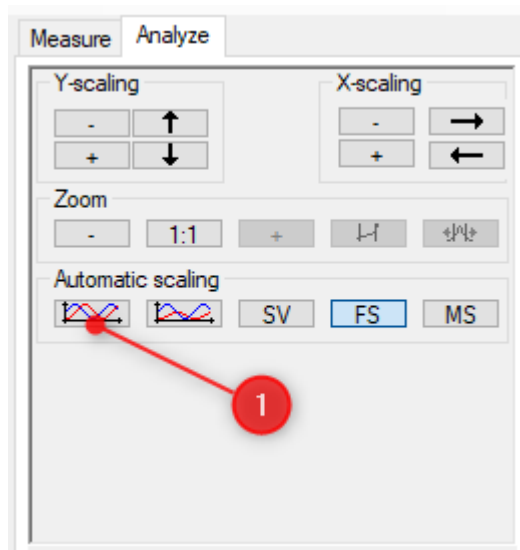
Trace the motion of Easy Startup Mode

Paramètres à visualiser et commenter:

S-0-0084 Force S-0-0051 Position S-0-0040 Vitesse S-0-0189 Erreur de poursuite



Configure data to trace



Scale data

Frottement statique.

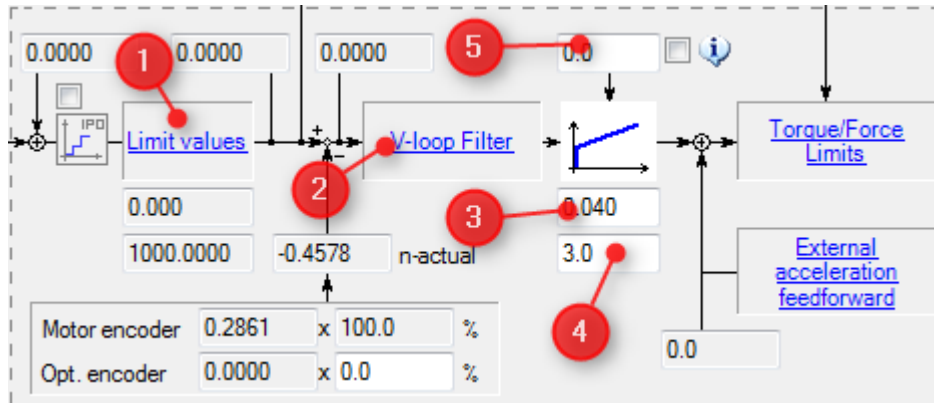
- Mesurer la force nécessaire pour vaincre le frottement statique. Pour ceci, utiliser le mode **Torque/Force Control** et augmenter **petit à petit** les % de la commande de force.

Quel est approximativement la force nécessaire pour vaincre le frottement dynamique ? Quel pourcentage du couple du moteur est utilisé pour cette opération ?

La commande à l'entrée du régulateur de courant/couple/force, correspond à la sortie du régulateur de vitesse qui est ici désactivé.

L'intégrateur du régulateur de vitesse fait d'une certaine manière la même chose que ce que vous faites. **Il augmente la force en fonction du temps.** C'est une des raisons pour lesquelles un intégrateur est limité, sinon il augmenterait indéfiniment le courant sur le moteur. Dans le cas d'un axe qui serait bloqué le moteur chauffe rapidement, c'est souvent un signe du blocage mécanique.

Faire un tuning manuel est le comparer avec l'auto-tuning.



Velocity controller

1. Limit Values : Permet de limiter la vitesse du moteur
2. V-loop Filter : 2 ou 4 filtres paramétrables + 1 filtre passe-bas
3. S-0-0100 : Composante P, proportionnelle du régulateur de vitesse.
4. S-0-0101 : Composante I, intégrale du régulateur de vitesse.
5. S-0-0163 : Compensation de poids, pour les axes verticaux

$$P-0-0049(t) = S-0-0100 \cdot \left[1 + \frac{t}{S-0-0101} \right] \cdot S-0-0347(t)$$

Velocity controller transfer function

Procedure

Réglage empirique

Basé sur la méthode Ziegler et Nichols

Idéalement, faire tourner le moteur en mode vitesse à environ 20 rpm à l'aide du « Easy Startup Mode ». Si la mécanique ne le permet pas, travailler à vitesse nulle.

Attention, feed-forward ; P-0-1126.0.0 à 0 !

Gain S-0-0100

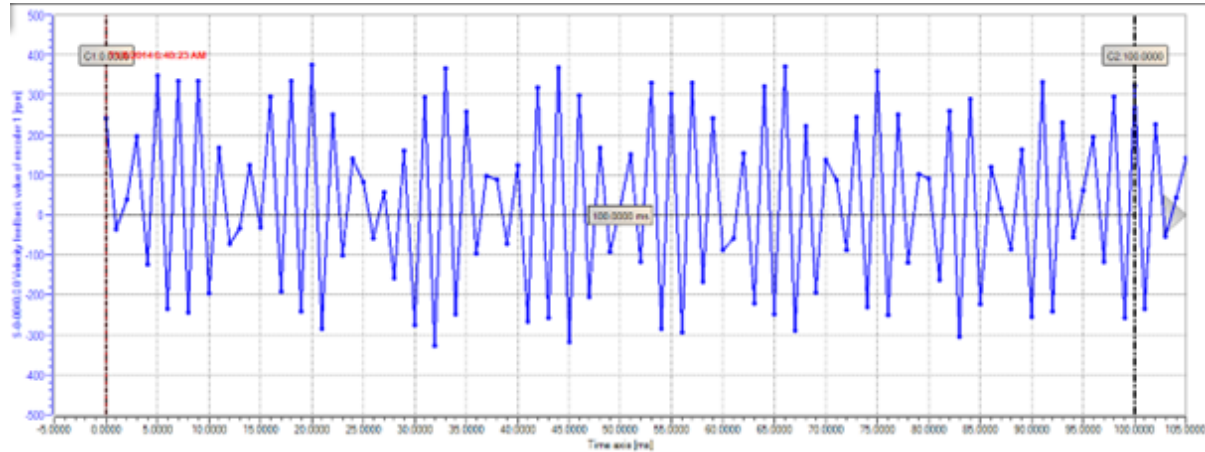
Conditions de départ :

- Régulateur de position S-0-0104 = 1 ; S-0-0100 = 1000 * l'inertie du moteur = 1000 * P-0-0510
- S-0-0101 = 0 [ms] sans intégrateur

- $P-0-0510 = 0.0001600$
- Donc 0.16

Augmenter progressivement le gain jusqu'à ce que le système commence à vibrer.

En principe, la vibration est audible. Sinon, visualiser le signal S-0-0100 sur l'oscilloscope.



Velocity controller vibration

- Diminuer le gain jusqu'à ce que la vibration cesse. C'est le gain critique.
- Diviser le gain critique par 2.

Exemple :

- Gain de départ : $S-0-0100 = 1000 * P-0-0510 = 0.01$
- L'oscillation apparaît à 0.09 et disparaît à 0.065. Le gain critique est de 0.065
- $S-0-0100$ estimé à $0.065 / 2 = 0.0325$

Temps d'intégration S-0-0101

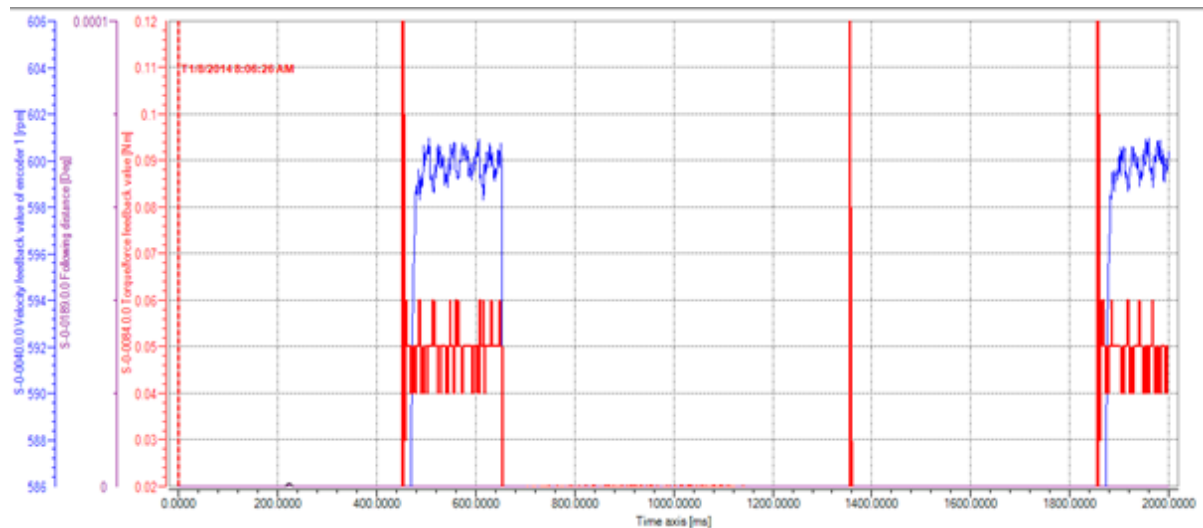
Diminuer progressivement le temps d'intégration S-0-0101 (en partant d'environ 100 ms) jusqu'à atteindre le point d'oscillation. Augmenter le temps d'intégration jusqu'à faire cesser l'oscillation. La valeur obtenue est le temps critique. Multiplier ensuite la valeur par 2 pour obtenir la valeur finale de S-0-0101.

Exemple :

Temps de départ : $S-0-0101 = 100$ ms L'oscillation apparaît à 0.6 et disparaît à 0.7. La valeur critique est de 0.07 $S-0-0101$ estimé à $0.7 * 2 = 1.4$

Visualisation avec l'oscilloscope

Ici, affichage du couple en rouge et de la vitesse en bleu.



Velocity controller example on the scope

- Les échelles sont ajustées manuellement pour visualiser sur le même tableau les deux valeurs pour une vitesse de 600 rpm.
- On voit que la vitesse oscille de moins de 2 rpm $< 0.5\%$
- Le couple oscille à un incrément de la résolution
- On obtient donc pour un moteur simple, un régulateur de vitesse stable.

Visualise your data in mode **Velocity Control**,

Tracer les courbes sur 4 secondes pour :

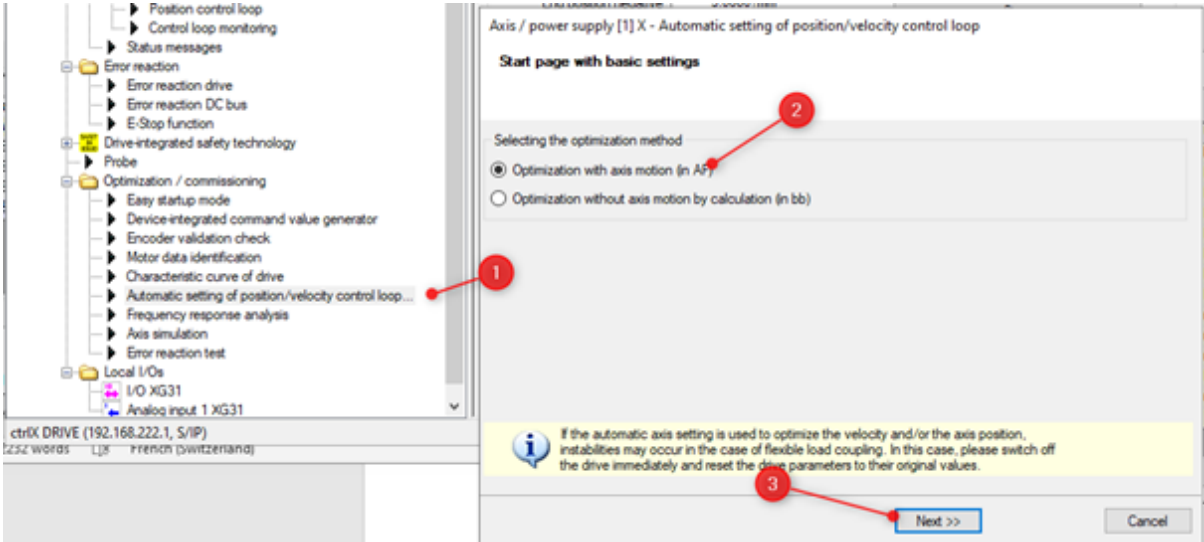
- S-0-0084 Force
- S-0-0051 Position
- S-0-0040 Vitesse
- S-0-0189 Erreur de poursuite

Start et automatic scaling quand le signal est disponible

Commenter le graph

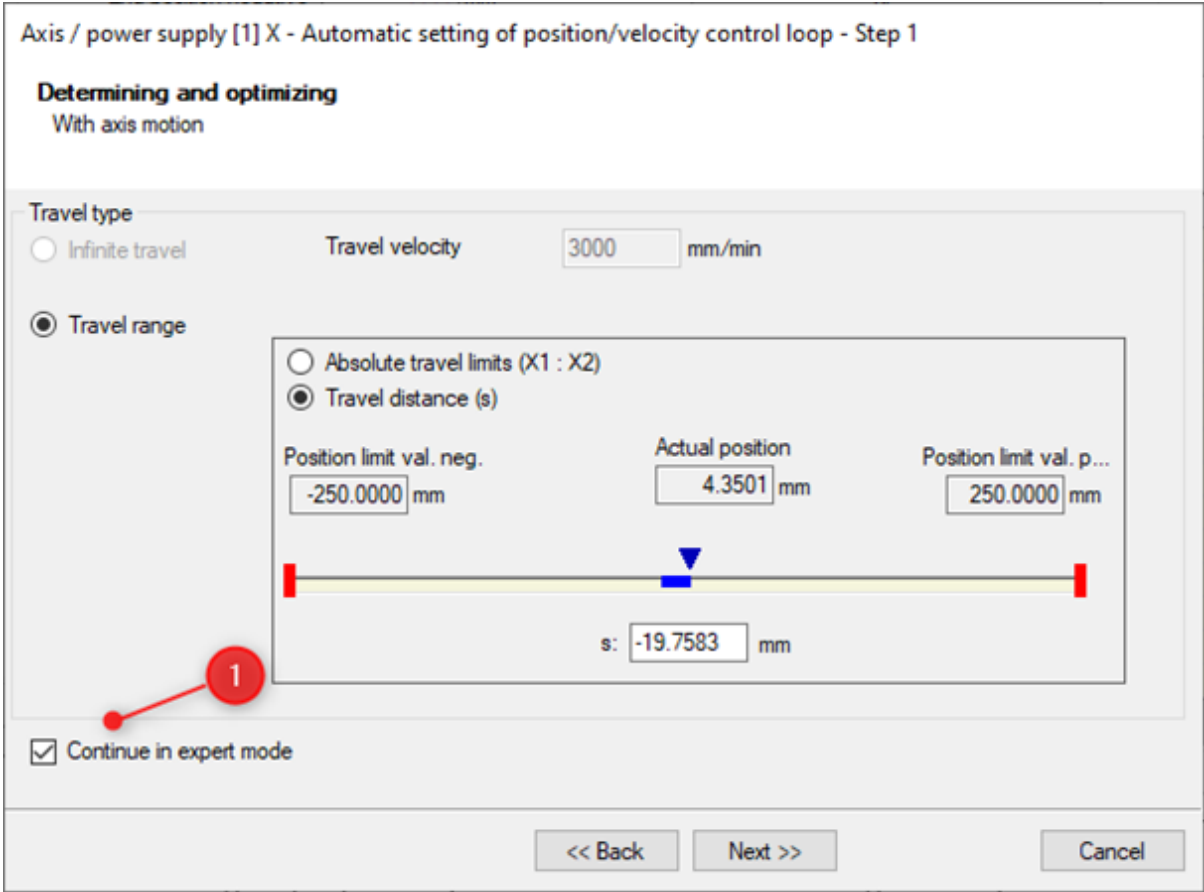
Comparer avec l'auto tuning

Mémorisez vos valeurs de S-0-0100 et S-0-0101 et les comparer avec le tuning automatique.



Start Auto-Tuning

Configuré sans feed-forward et sans filtre.



Continue in Expert Mode

Do not optimize position controller and frequency response. **Do not** optimize acceleration feedforward.

Axis / power supply [1] X - Automatic setting of position/velocity control loop - Step 1 (Expert mode)

Determining and optimizing - Expert mode
With axis motion

Application type: Handling axis

Axis structure: Drive with gearbox/gear wheel

Damping factor: 3.0

Control dynamics: High to Low

Settings:

- ☒ Load inertia Determine
- Load inertia: 0.0003421 kgm²
- ☒ Optimize speed controller
- ☐ Optimize position controller
- ☒ Calculate acceleration feedforward
- ☒ Determine maximum acceleration
- ☐ Measure frequency response
- ☐ Set filters

Motor data | Controller data

<< Back | Next >> | Cancel

Select Handling and parameters to set

Afficher les résultats et commenter

Comparer Load Inertia : *your measure* avec celle du moteur P-0-0510. Votre commentaire...

Essayer avec Feed-Forward et comparer

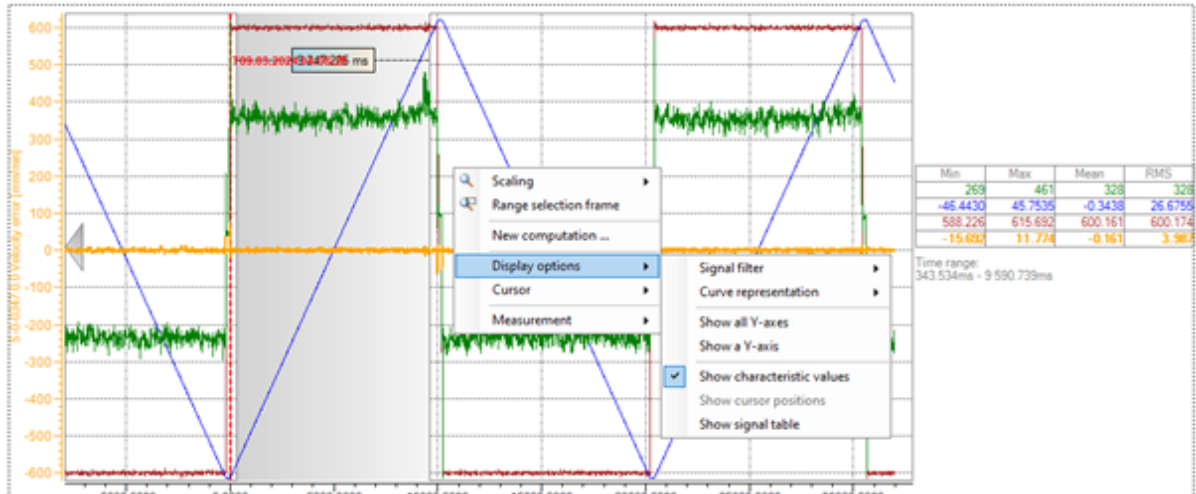
Frottement dynamique

- Mesurer la force nécessaire a faible vitesse constante
- Utiliser le mode **Drive-controlled positioning**, mais sur +- 50 mm pour faire cette mesure, augmenter le temps de mesure sur la trace.
- Faire des mesures à 600 mm/min
- Puis 6000 mm/min (soit 100 mm/s)

Il serait préférable d'utiliser le mode vitesse, mais celui-ci a actuellement un **bug** et ne fait pas de mouvement aller-retour sur certaines machines.

Comparer avec les spécifications du moteur.

Utiliser click droit pour visualiser les données :



Show characteristic values

En finalité

Préparer un mouvement avec

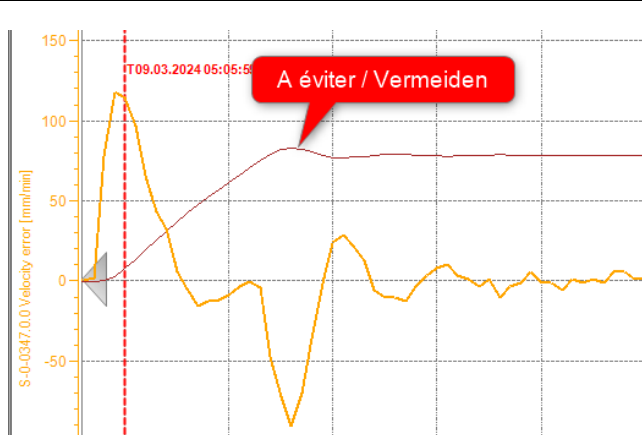
\$\pm 50\$ [mm] avec une vitesse de \$6000\$ [mm/min] et une accélération de \$1\$ m/s².

- La force en rouge
- La vitesse en bleu
- La position en vert
- L'erreur de vitesse en noir

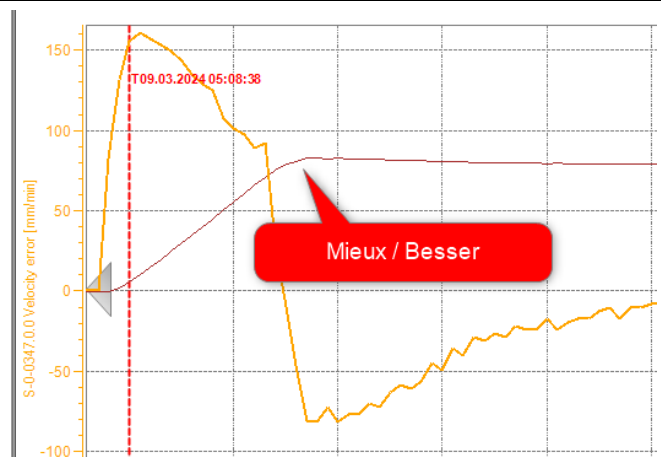
Proposer votre tuning idéal, le justifier et le commenter

Sachant que:

Overshoot à éviter



Mieux !



Questions auxiliaires

- Quels est la tension sur le bus DC ?
- Quels sont les registres que le PLC envoie au drive?

- Quel registre permet au PLC de connaître la position du moteur ?
- Pourquoi est-il, dans notre cas, inutile de configurer le codeur ?
- Combien de points par tour le moteur de l'axe X reçoit-il via le bus Ethercat lorsque la limite de vitesse de l'axe X est atteinte ?
- Expliquer pourquoi le moteur de l'axe X semble surdimensionné par rapport au couple maximal admissible par la vis à billes.
- A quoi sert le frein sur l'axe Z ?

Ne pas quitter la salle avant d'avoir restauré les paramètres !
