

# Automated Process Control

quand l'intelligence artificielle s'intègre aux outils de pilotage des machines-outils



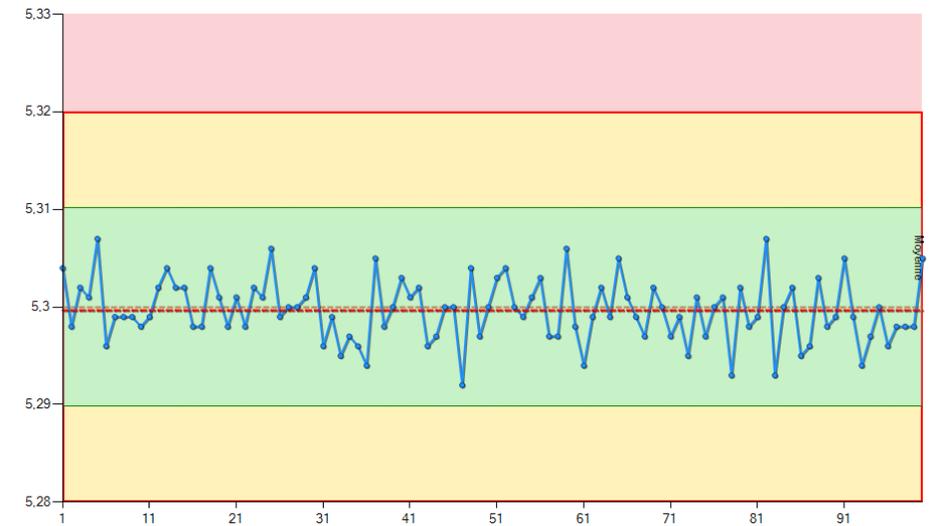
DAVY PILLET | [davy.pillet@ellistat.com](mailto:davy.pillet@ellistat.com)

# Contexte



Plusieurs heures de temps de réglage perdues par semaine.

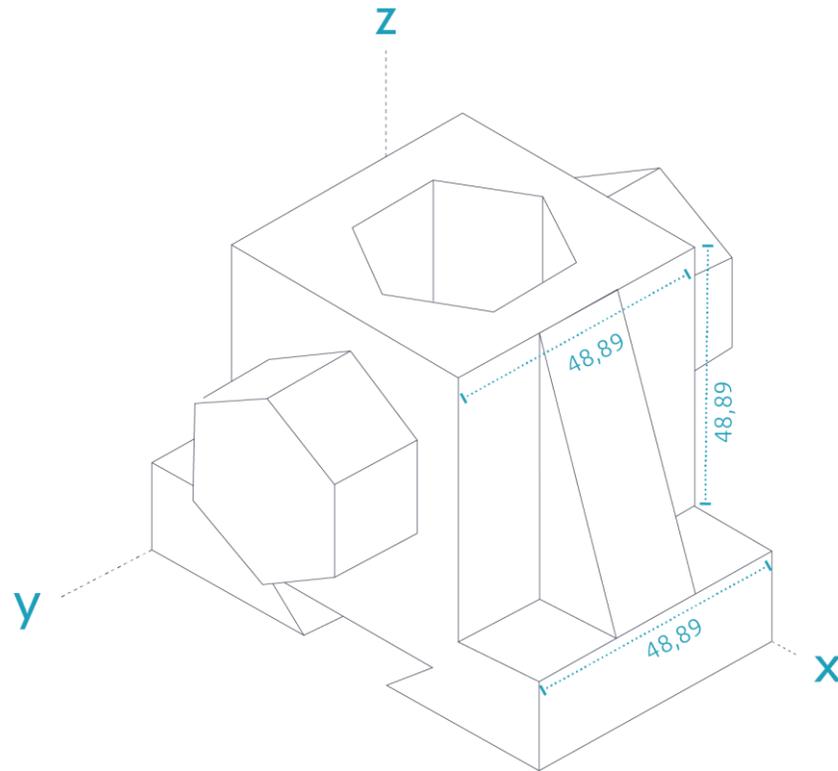
(en moyenne 15kCHF/an/machine)



Forte variabilité du taux de rebut dans le temps

(en moyenne 10kCHF/an/machine)

# Les réglages sont de plus en plus complexes

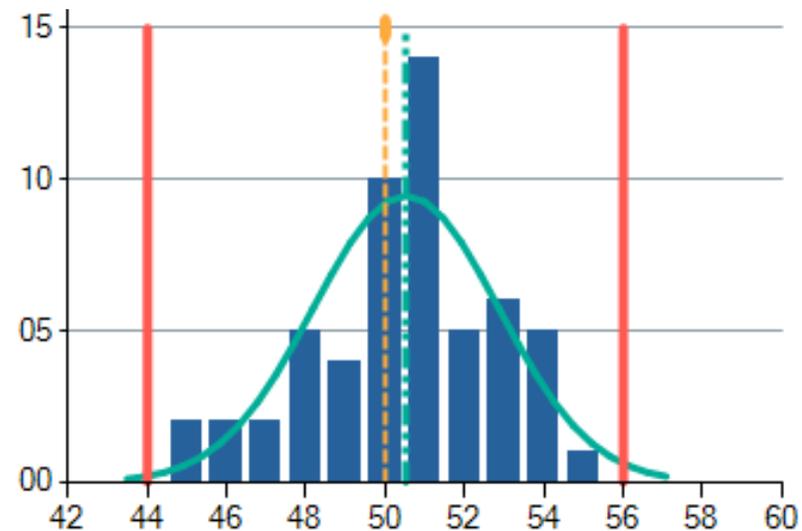
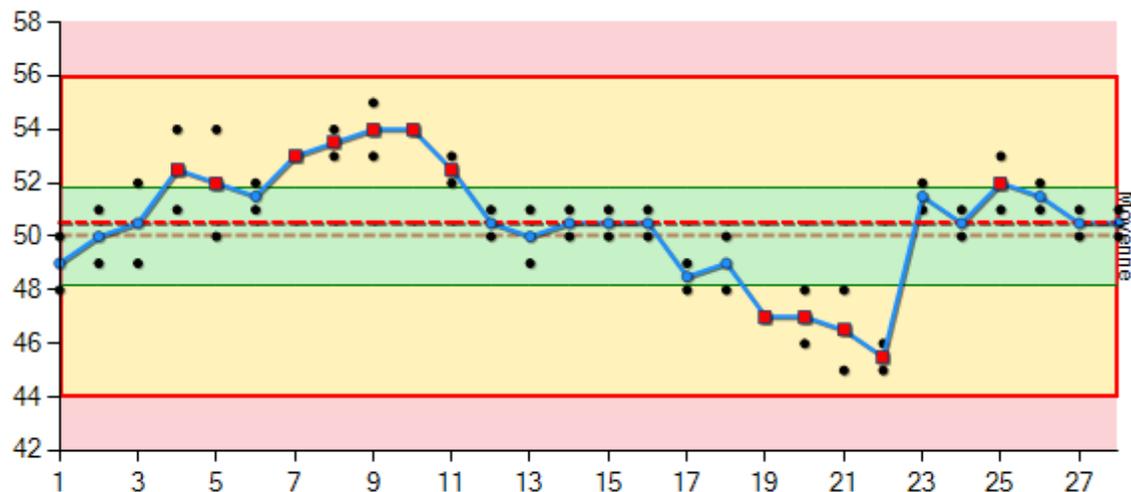


LA GÉOMÉTRIE DES PIÈCES  
EST DE PLUS EN PLUS COMPLEXE  
ET LES RÉGLAGES SONT DÉPENDANTS  
DE PLUSIEURS COTES À LA FOIS



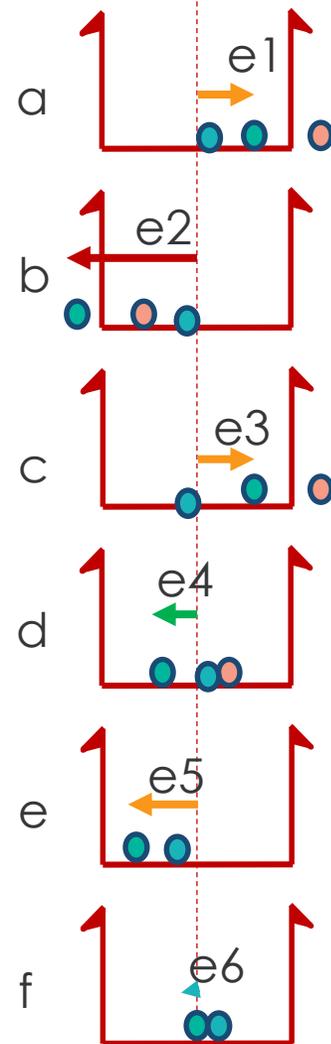
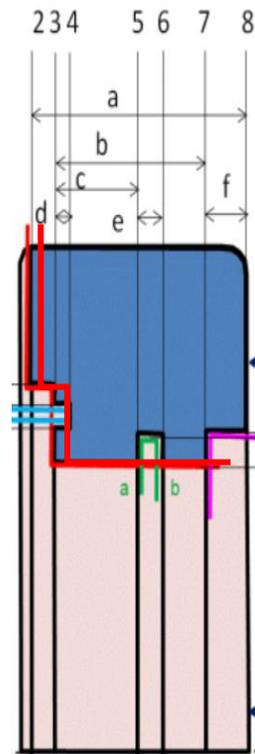
# Les enjeux !

UNE PRODUCTION QUI ÉTAIT TOLÉRABLE HIER NE L'EST PLUS FORCÉMENT AUJOURD'HUI



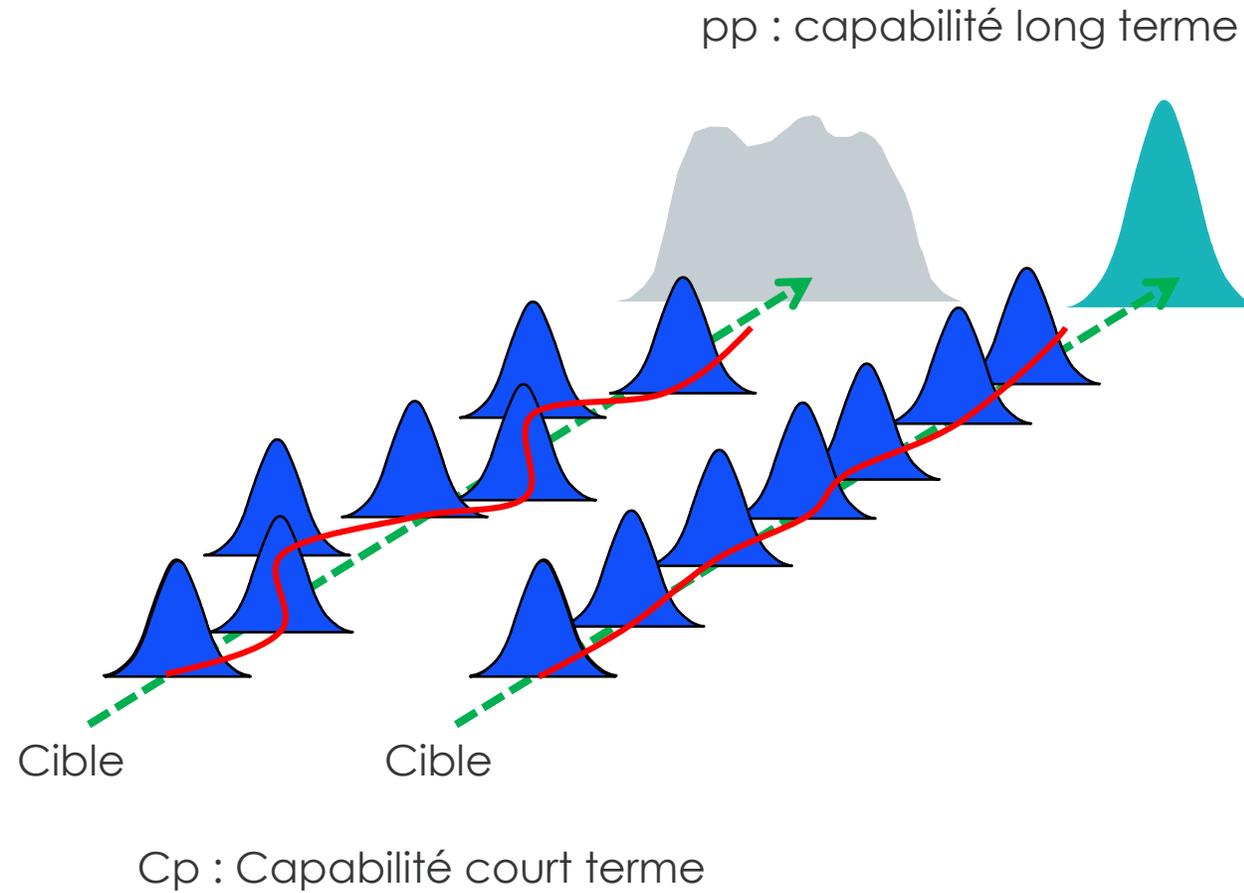
# Les Enjeux !

**ENJEU N° 1** Optimiser les réglages  
Dans un espace multidimensionnel



# Les Enjeux !

## ENJEU N° 2 maîtriser la variabilité

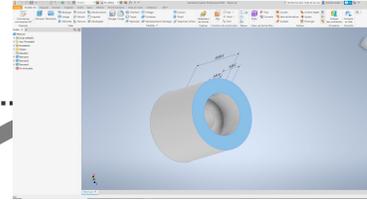


# Les Enjeux !

## ENJEU N° 3

s'intégrer dans la chaîne numérique 4.0

CONCEPTION DE LA  
PIECE



LES CORRECTIONS  
SONT APPLIQUÉES À  
LA MACHINE



MESURE DE(S) PIÈCE(S)



**Importez**  
les données  
de la pièce

**Fournit**  
directement  
les correcteurs  
optimaux

**Possibilité**  
d'automatiser  
l'application  
des correcteurs

LE RÉGLEUR CALCULE LES  
CORRECTIONS  
**LLISETTING**

# Le calcul de correction est laissé au régleur

$$\vec{a} = \left( \frac{d^2}{dt^2} - n \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right) \vec{r}_i + \frac{1}{n} \frac{d}{dt} \left( n^2 \frac{d\theta}{dt} \right) \vec{a}_0$$

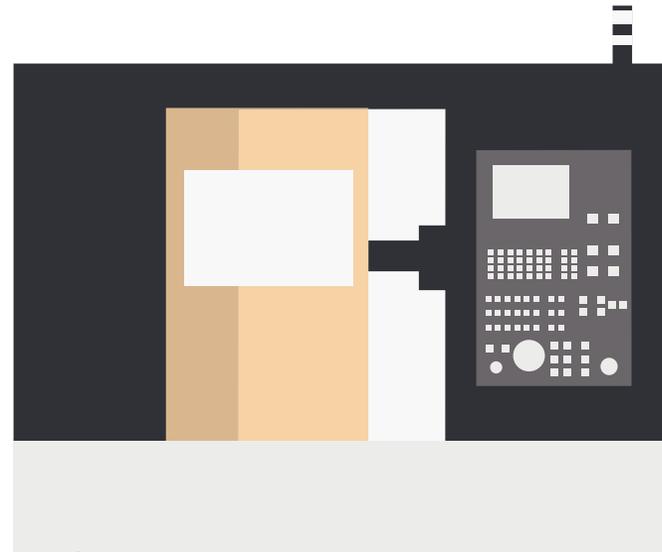
projection:  
 $\cdot a_t = \frac{d^2}{dt^2} - n \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2$      $\cdot a_0 = \frac{1}{n} \frac{d}{dt} \left( n^2 \frac{d\theta}{dt} \right)$

on intègre ?  
→ 2 équations ?

● MODÉLISATION SIMPLIFIÉE



CORR 1  
CORR 2  
...  
...  
CORR N



● ERREUR DE SAISIE

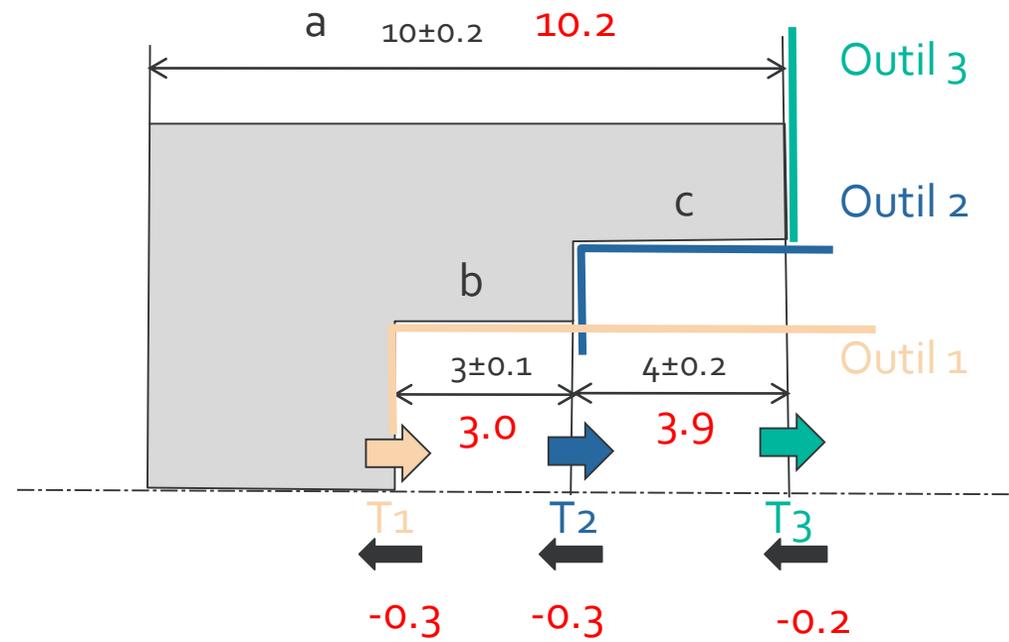
● ERREUR DE CALCUL

● CHOIX DE CORRECTEURS NON PERTINENTS

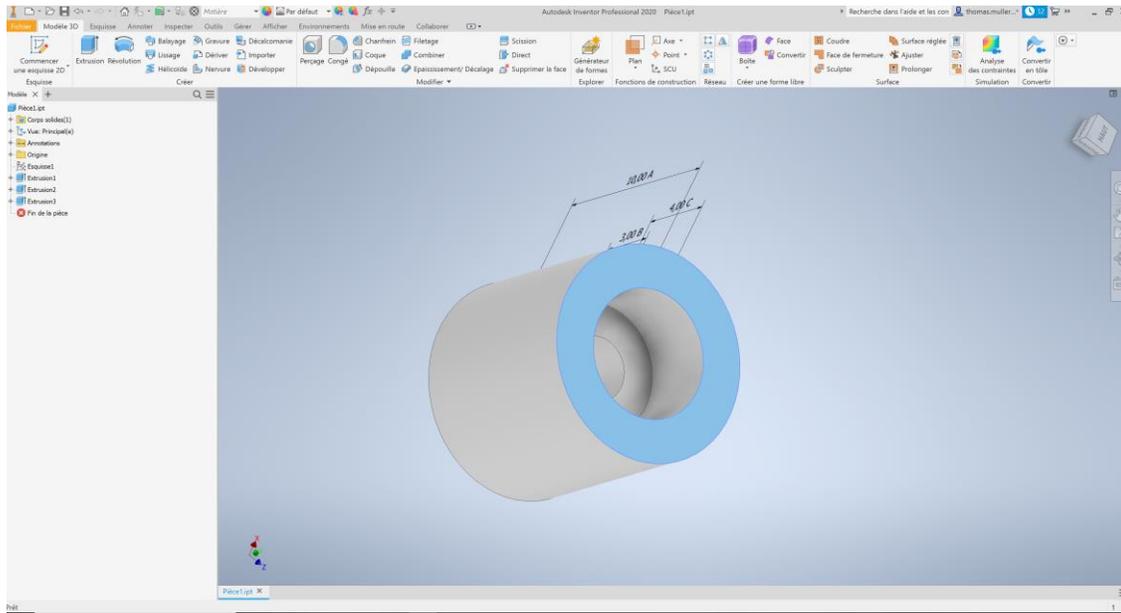
## CONSÉQUENCES

- > Le nombre de pièces de réglage est supérieur au strict nécessaire
- > La qualité n'est pas optimale
- > La formation des régleurs est souvent très longue (plusieurs mois)

# Exemple



# Calcul des corrections



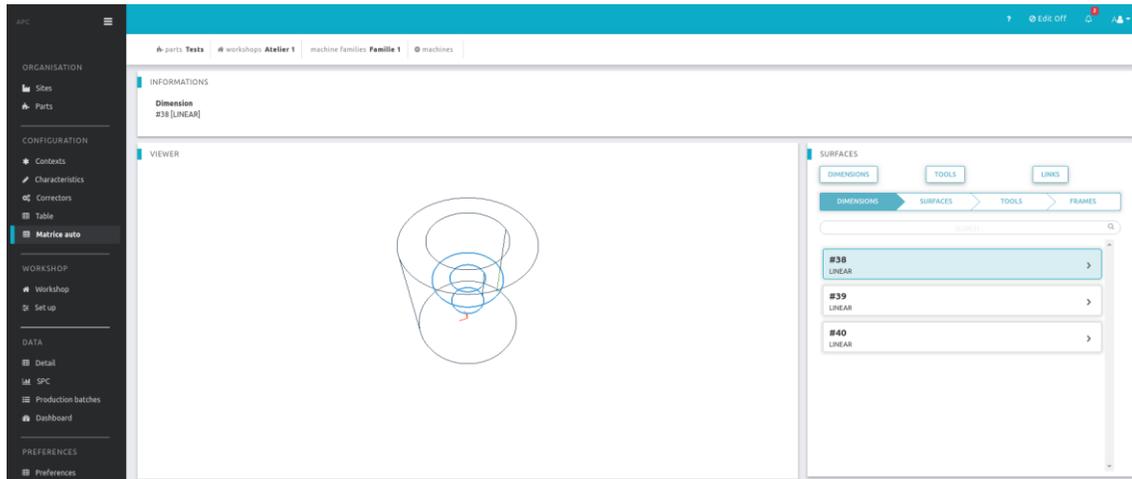
Measure requise 428.03 Effacer les mesures Anciens pilotages Détails

#	NOM	MESURE	ECART	PREVISION
1	10 0.2±0.2	a	10.2	0.2   0.017
2	3 0.1±0.1	b	3	0         0
3	4 0.2±0.2	c	3.9	-0.1         -0.028

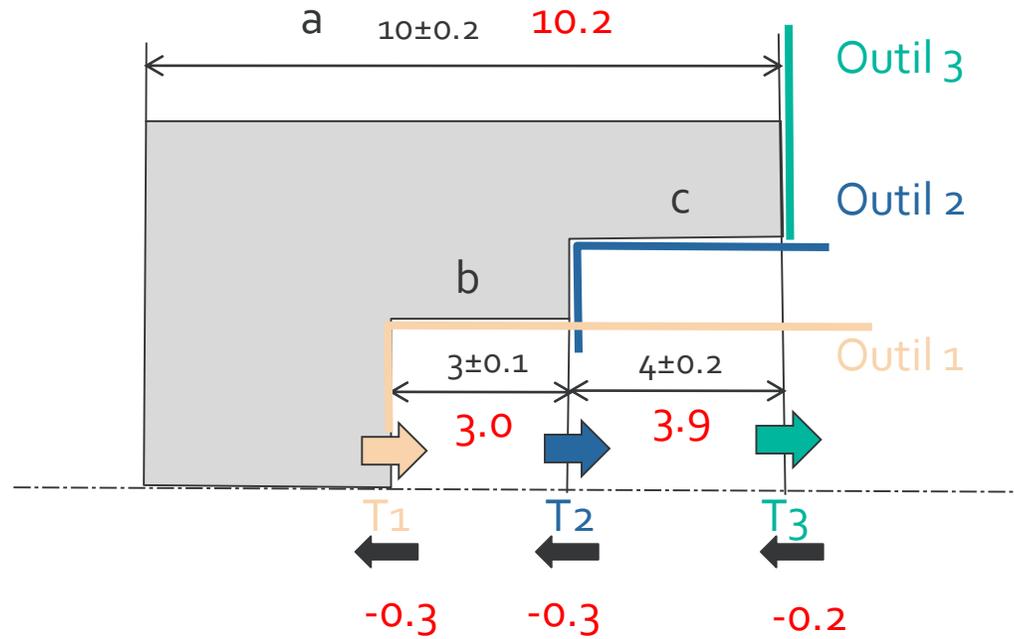
COMMENTAIRE

Réglage VALIDER

#	NOM	CORRECTION	DESCRIPTION
1	T1	-0.255	
2	T2	-0.255	
3	T3	-0.183	



# Comment corriger la machine ?



Mesure requise 428:03 Effacer les mesures Anciens pilotages Détails

#	NOM	MESURE	ECART	PREVISION
1	10 $0.2 \pm 0.2$ a	10.2	0.2	0.017
2	3 $0.1 \pm 0.1$ b	3	0	0
3	4 $0.2 \pm 0.2$ c	3.9	-0.1	-0.028

COMMENTAIRE

Réglage VALIDER

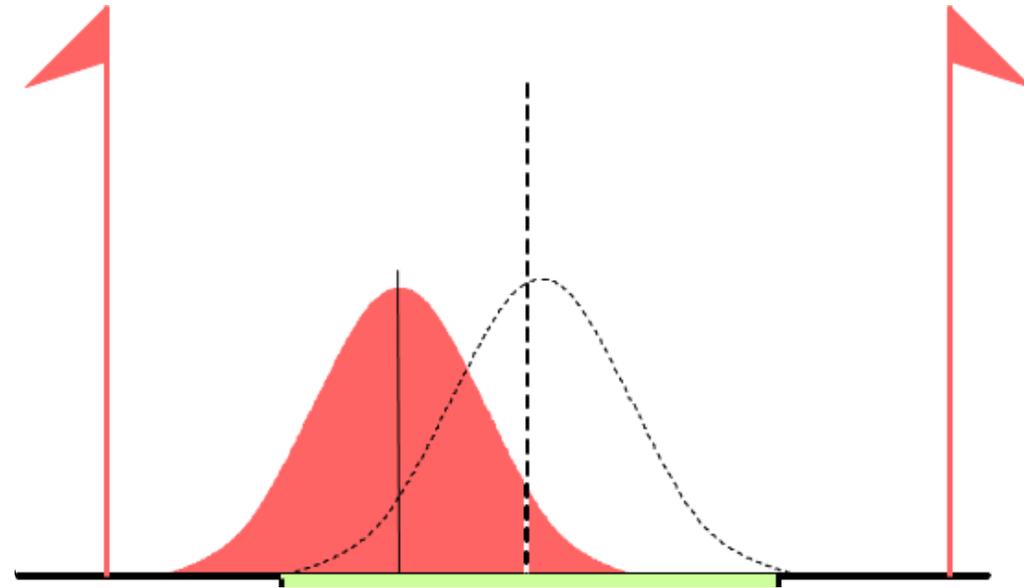
#	NOM	CORRECTION	DESCRIPTION
1	T1	-0.255	
2	T2	-0.255	
3	T3	-0.183	

T1 -0.255

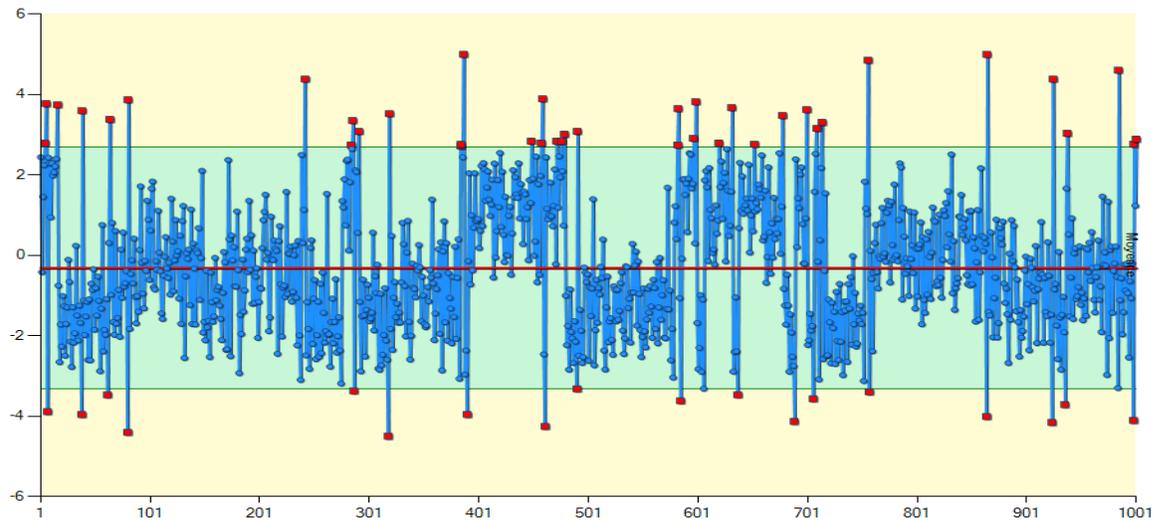
T2 -0.255

T3 -0.183

# Statistical Process Control (SPC)

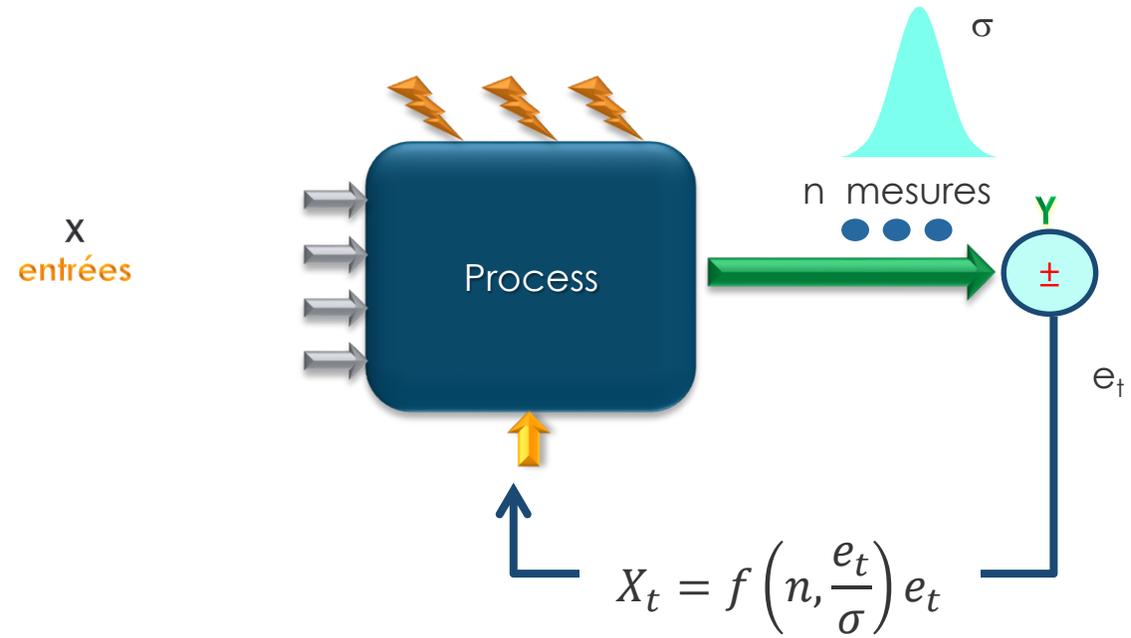


Carte de contrôle pour SPC

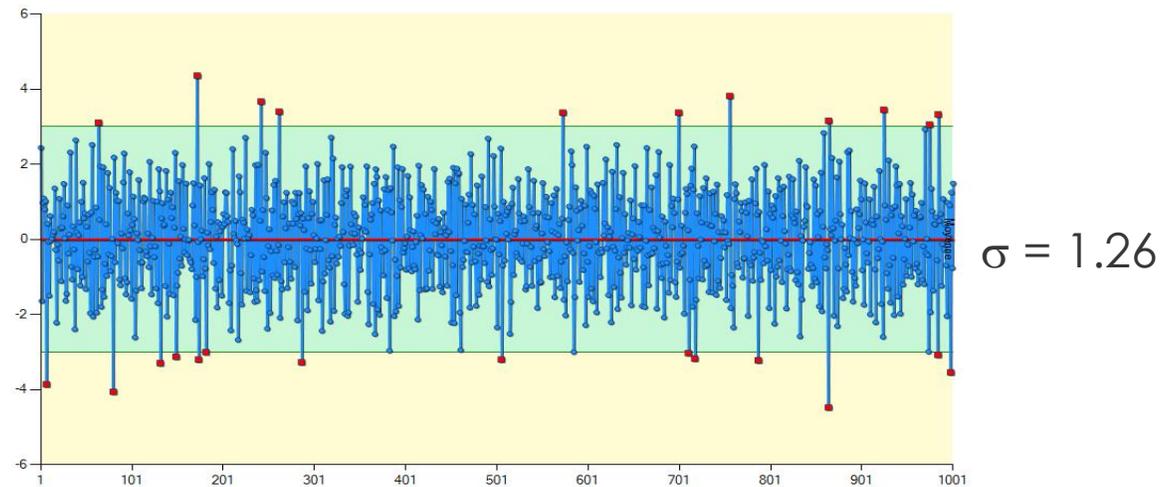


$$\sigma = 1.61$$

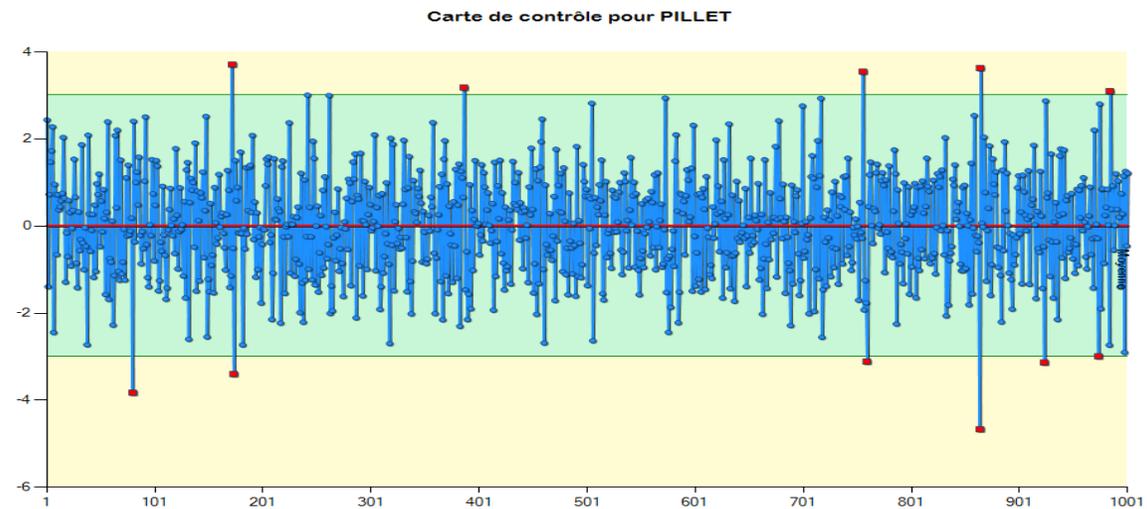
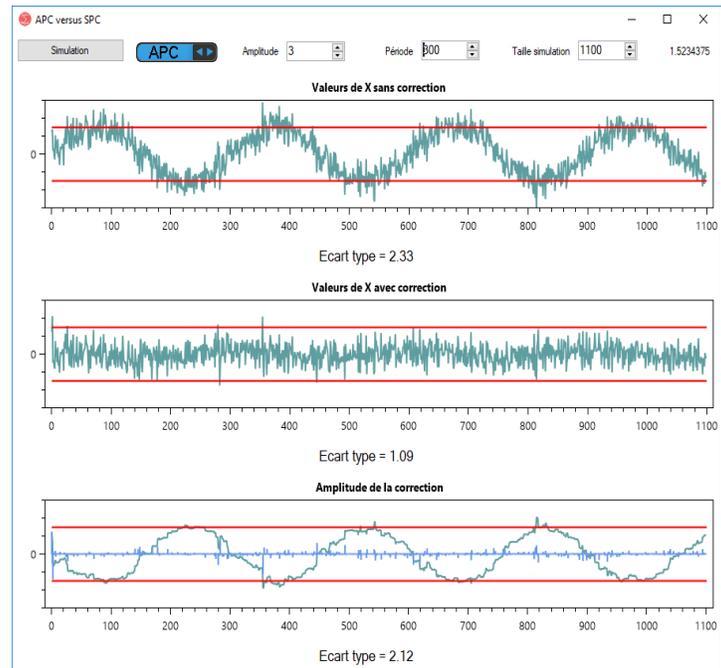
# Engineering Process Control



Carte de contrôle pour PI



# Automated Process Control

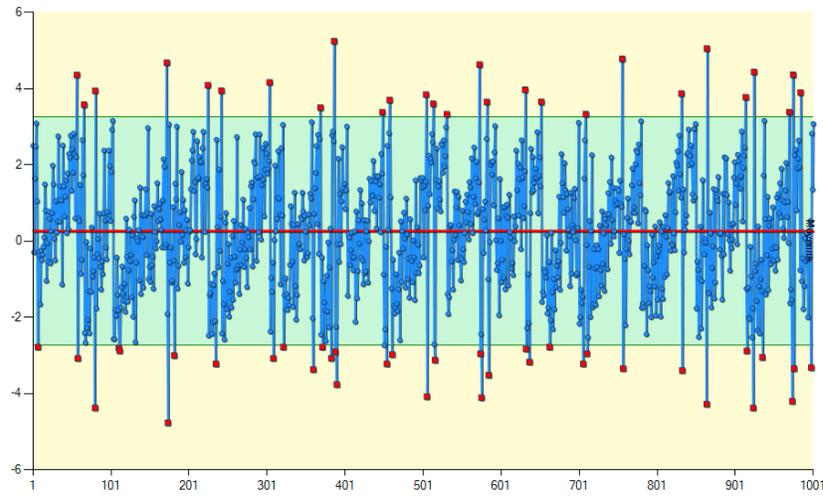


$$\sigma = 1.04$$

# Intérêt de l'APC en cas de dérive du process ( $\sigma$ Idéal = 1)

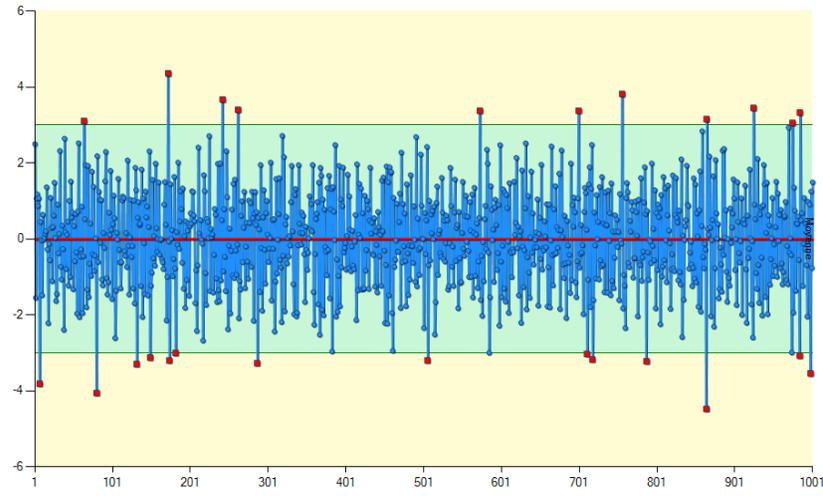
SPC

Carte de contrôle pour SPC dérive



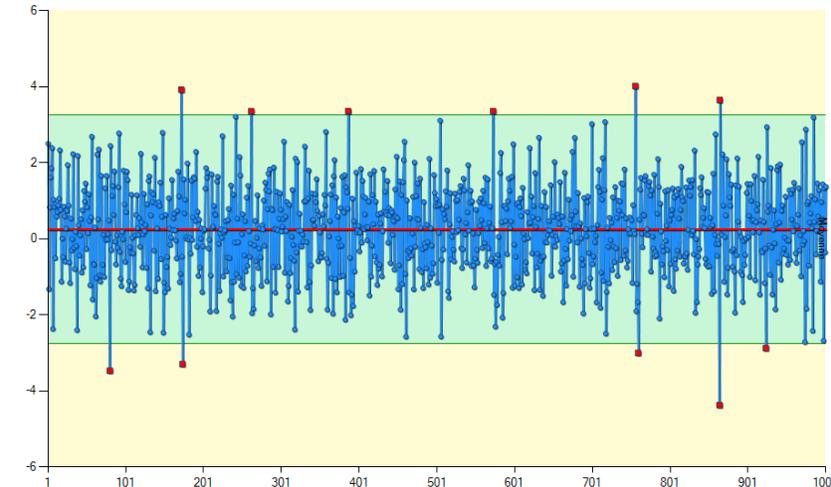
EPC

Carte de contrôle pour PI dérive

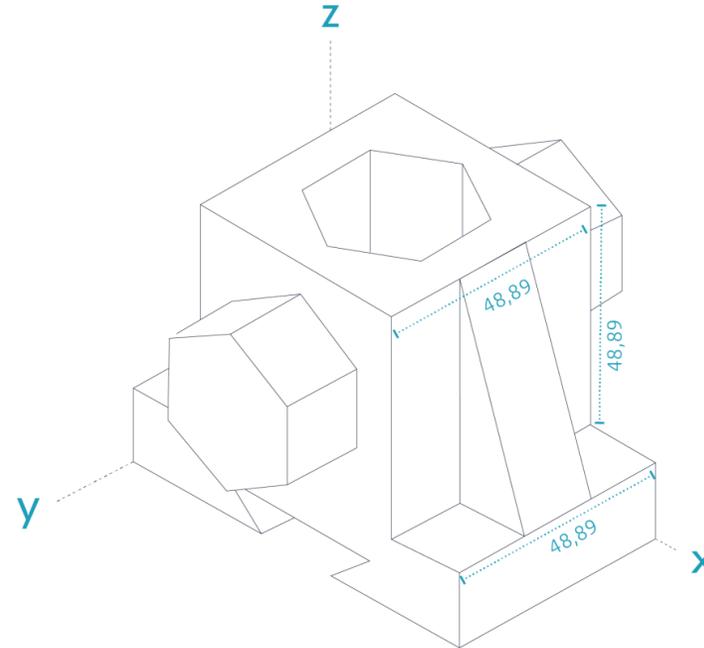


APC

Carte de contrôle pour Pillet dérive



**Permet le pilotage des  
procédés complexes**



**Intégré au cycle de  
conception des produits**

**Combine des outils statistiques, mathématiques et Machine Learning  
pour comprendre l'environnement**

**1**

Seule pièce de réglage  
(au lieu de 4)

**-75%**

Réduction du temps de réglage

**-90%**

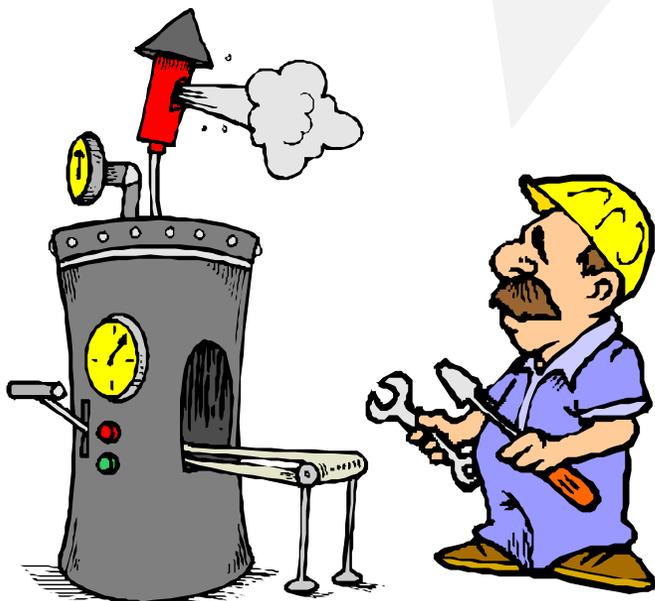
Réduction du taux de rebut

**1**

Jour de formation

Gains moyens: 20 kCHF /an/machine

MON MÉTIER C'EST DE REGLER, JE FAIS QUOI  
MAINTENANT ?



Les métiers de calculs sont voués à se transformer.

Le travail d'un régleur n'est pas de calculer ....  
Mais de comprendre le fonctionnement de la machine.

Pour l'instant les algorithmes de machine-learning ne savent pas le faire.

---

# Vos questions