

Exemple d'optimisation d'une performance produit avec co-variable

Contexte: Procédé de sertissage d'un ressort lame pour une application de verrouillage sécuritaire dans l'automobile.

Effort de rappel trop faible en position sertie.

L'effort de rappel dépend des paramètres de sertissage mais aussi de l'effort intrinsèque du ressort avant sertissage (raideur à l'état libre)

L'effort de rappel intrinsèque des verrous est toujours différent d'un verrou à l'autre (dispersion naturelle) => co-variable

Le ressort est une pièce achetée

Questions: - Comment augmenter mon effort de rappel?

- Comment identifier les facteurs influents de l'effort de rappel?

- Comment modéliser mon effort de rappel en fonction des paramètres process mais aussi de l'effort intrinsèque de chaque verrou?



Outils et méthodes utilisés:

- Plan d'expériences fractionnaires avec co-variable
- Analyse de la variance
- Statistiques descriptives

Mise en place du plan d'expériences



- Plan d'expériences fractionnaire avec co-variable

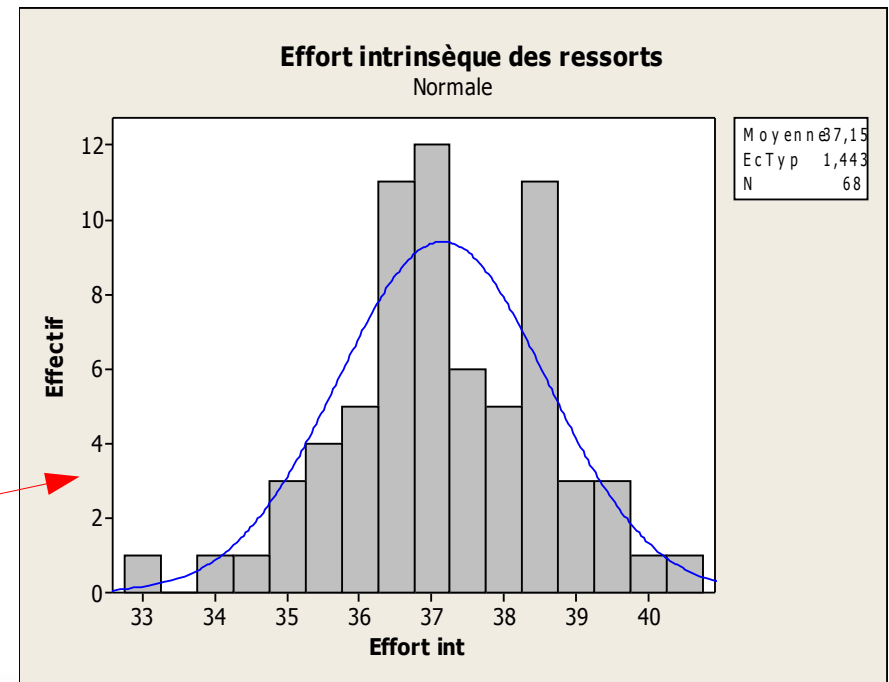
Facteur	Désignation	type	Niveau bas	Niveau haut	unités
Pression	pression	contrôle	3	5	bars
Position	pos	contrôle	-1	1	mm
Hauteur	haut	contrôle	-0,2	0,2	mm
Profondeur	prof	contrôle	-0,3	0,3	mm
Effort intrinsèque	effort int	Co-variable			mm

Réponse étudiée: effort de rappel du ressort une fois serti (en Newton)

Remarque: Pour chaque ligne d'essai on mesure l'effort intrinsèque du ressort avant sertissage.

- Extrait de la matrice d'essais

pression	hauteur	pos	prof	Effort rappel	Effort int
5	-0,2	-1	-0,3	10,8	37,55
3	0,2	-1	-0,3	13,57	39,45
3	-0,2	1	-0,3	14,1	37,70
5	0,2	1	-0,3	13,05	35,30
3	-0,2	-1	0,3	13,47	38,56
5	0,2	-1	0,3	12,81	38,28
...



- Effort intrinsèque des ressorts avant le sertissage.
- Variation de l'effort avant sertissage entre 33 et 41N
- Nécessite de prendre en compte cette valeur intrinsèque différente sur chaque ressort



- Analyse des résultats

Effets et coefficients estimés pour Effort rappel (unités codées)

Terme	Effet	Coef	Coef ErT	T	P
Constante		8,081	5,6820	1,42	0,160
Effort int		0,665	0,1535	4,33	0,000
pression	-2,236	-1,118	0,2139	-5,23	0,000
hauteur	1,060	0,530	0,2146	2,47	0,016
pos	5,674	2,837	0,3086	9,19	0,000
prof	2,223	1,111	0,1422	7,82	0,000
pression*pos	0,785	0,392	0,2135	1,84	0,071
pos*prof	0,524	0,262	0,1439	1,82	0,074

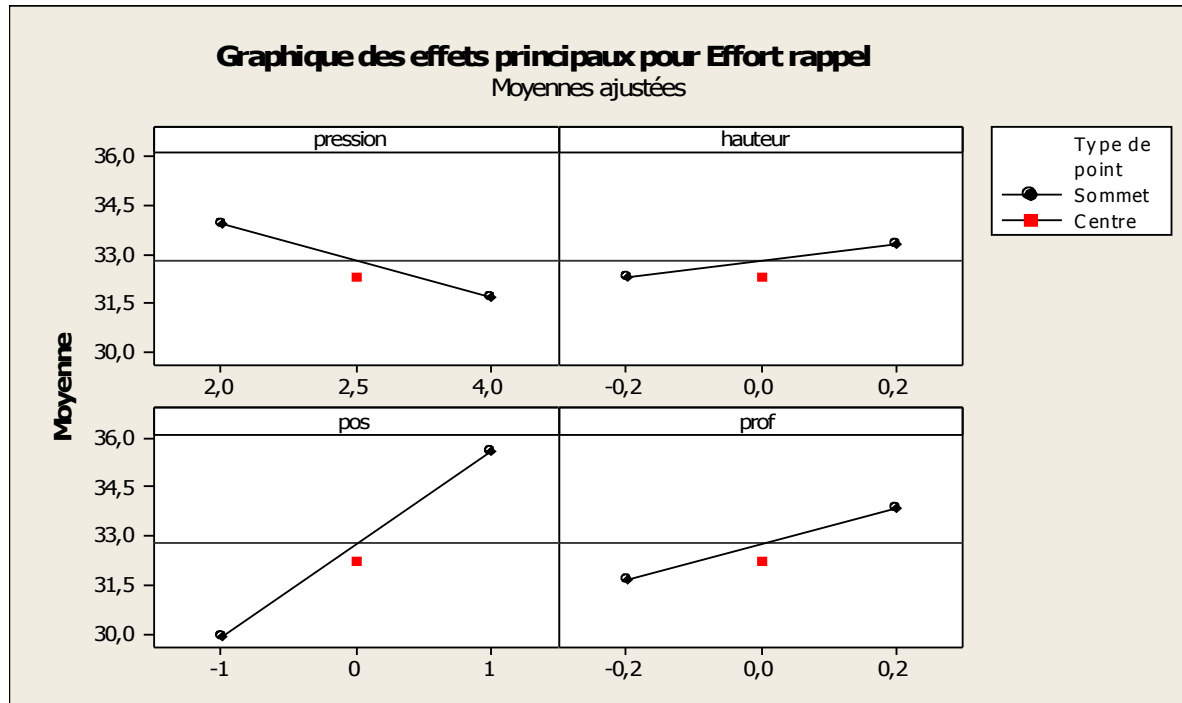
Prise en compte de l'effort intrinsèque du ressort sur l'effort après sertissage

Détermination de la sensibilité de chacun des facteurs (et des interactions) sur l'effort de rappel
Exemple d'interprétation: quand j'augmente la pression de 3 à 5 bars, l'effort de rappel chute de 2,2N.

S = 1,67698
R carré = 84,84 %

Interprétation: On modélise par les facteurs (et les interactions) choisis 85% de la variation de l'effort de rappel => très bien

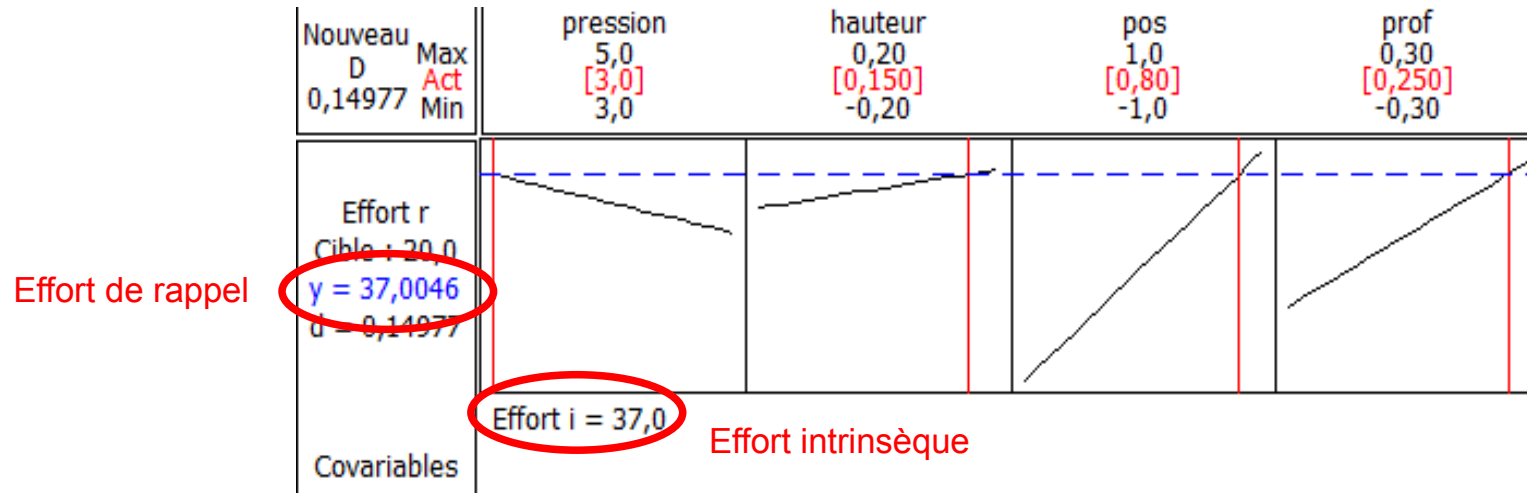
- Analyse graphique



Représentation graphique des différents facteurs
Exemple : le changement de position est le facteur le plus important et donc le plus sensible, en changeant la position de -1mm à 1 mm j'augmente l'effort de rappel de presque 6N



- Optimisation et prédiction



Objectif: Pas de dégradation de l'effort intrinsèque du ressort par le procédé de sertissage:

- Pour un effort intrinsèque moyen de 37N la combinaison pression à 3 bars, hauteur à 0,15mm, position à 0,8mm et profondeur à 0,25mm me permet de ne pas dégrader l'effort.
- Le paramétrage nominal du procédé (pression=4 bars, hauteur=0mm, position=0mm et profondeur=0mm) dégrade l'effort de 5,5N => effort de rappel=31,5N
- Le paramétrage du procédé est très important dans le sens où il peut dégrader très facilement la valeur de l'effort.
- On remarque que pour obtenir effort intrinsèque = effort de rappel le paramétrage du procédé est en limite.

Résultats:

- Modélisation complète de l'effort de rappel en tenant compte des paramètres de procédé mais aussi de la valeur de l'effort intrinsèque du ressort.
- Connaissance de la sensibilité des différents facteurs du procédé et de leurs interactions.
- Possibilité de définir, en connaissant l'effort intrinsèque moyen des ressorts, le réglage du procédé de sertissage à mettre en œuvre pour une valeur d'effort de rappel souhaité.
- Connaissance également de la limite du procédé si on exige une augmentation de l'effort de rappel sans modification des ressorts chez le fournisseur