

Plan d'expérience DOE

Etape 1: énoncer le problème pratique

Un ingénieur qualité travaillant pour un fabricant de pièces plastique développe un nouveau produit. Il conçoit un plan factoriel complet à 2 niveaux pour étudier les effets de plusieurs facteurs sur la variabilité du poids du composant.

Etape 2: énoncer les facteurs et niveaux auxquels on s'intéresse, créer une feuille de données de l'expérience avec les facteurs dans leurs colonnes respectives.

4 Facteurs

1. Cavités du moule	C1	C2
2. Pression d'injection en bars	P1 : 75	P2: 150
3. Température d'injection en °C :	Ti1: 85	Ti2: 100
4. Temps de refroidissement en seconde	Tr1: 25	Tr2: 45

Nombre d'expérience : full factorielle $2^k = 2^4 = 16$

Plan non codé

Cavité	Press Inj	Temp Inj	Temp Refr	Poids
C1	75	85	25	
C2	75	85	25	
C1	150	85	25	
C2	150	85	25	
C1	75	100	25	
C2	75	100	25	
C1	150	100	25	
C2	150	100	25	
C1	75	85	45	
C2	75	85	45	
C1	150	85	45	
C2	150	85	45	
C1	75	100	45	
C2	75	100	45	
C1	150	100	45	
C2	150	100	45	

Plan codé

Cavité	Press Inj	Temp Inj	Temp Refr	Poids
-1	-1	-1	-1	
1	-1	-1	-1	
-1	1	-1	-1	
1	1	-1	-1	
-1	-1	-1	-1	
1	-1	-1	-1	
-1	1	-1	-1	
1	1	-1	-1	
-1	-1	-1	1	
1	-1	-1	1	
-1	1	-1	1	
1	1	-1	1	
-1	-1	-1	1	
1	-1	-1	1	
-1	1	-1	1	
1	1	-1	1	

Etape 3: sélectionner la taille d'échantillon appropriée et randomiser les passages en machine. Réaliser l'expérience.

Cavité	Press Inj	Temp Inj	Temp Refr	Poids
-1	-1	-1	-1	13,29
1	-1	-1	-1	19,44
-1	1	-1	-1	17,05
1	1	-1	-1	22,63
-1	-1	-1	-1	14,10
1	-1	-1	-1	19,75
-1	1	-1	-1	16,73
1	1	-1	-1	23,70
-1	-1	-1	1	15,34
1	-1	-1	1	20,35
-1	1	-1	1	19,07
1	1	-1	1	23,13
-1	-1	-1	1	19,78
1	-1	-1	1	24,53
-1	1	-1	1	24,35
1	1	-1	1	27,72

Etape 4: élaborer le tableau ANOVA pour le modèle complet

- Calculer la moyenne de la réponse (poids moyenne) et les moyennes de la réponse pour chaque niveau par facteur M_{-1} ; M_{+1}

Niveau	Poids	Cavité	Pression	T° injection	Temps ref
-1	20,06	17,46	18,32	18,79	18,34
1		22,66	21,80	21,33	21,78

- Etablir le tableau des interactions

Moule	PressInj	TempInj	TempRafr	M*PI	M*TI	M*TR	PI*TI	PI*TR	TI*TR	M*PI*TI	M*PI*TR	M*TI*TR	PI*TI*TR	M*PI*TI*TR
-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1
-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1
1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1
-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1
-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1
1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

- Calculer les moyennes de la réponse pour chaque niveau d'interaction I_{-1} ; I_{+1}

Niveau	M*PI	M*TI	M*TR	PI*TI	PI*TR	TI*TR	M*PI*TI	M*PI*TR	M*TI*TR	PI*TI*TR	M*PI*TI*TR
-1	20,16	20,06	20,51	20,01	20,01	19,02	19,97	20,25	20,17	19,96	20,20
1	19,96	20,06	19,61	20,11	20,11	21,10	20,15	19,87	19,94	20,16	19,92

- Calculer les sommes des carrées pour la réponse, les facteurs et les interactions

SS	SSt	SSm	SSpi	M*TR	PI*TR	M*PI*TI	M*TI*TR	M*PI*TI*TR
	251,67	107,83	48,22	3,226	0,034	0,131	0,210	0,329
	SSti	SStr	M*PI	M*TI	PI*TI	TI*TR	M*PI*TR	PI*TI*TR
	25,91	47,53	0,157	0,000	0,047	17,272	0,593	0,162

- Calculer les effets et les coefficients des facteurs principaux de la régression

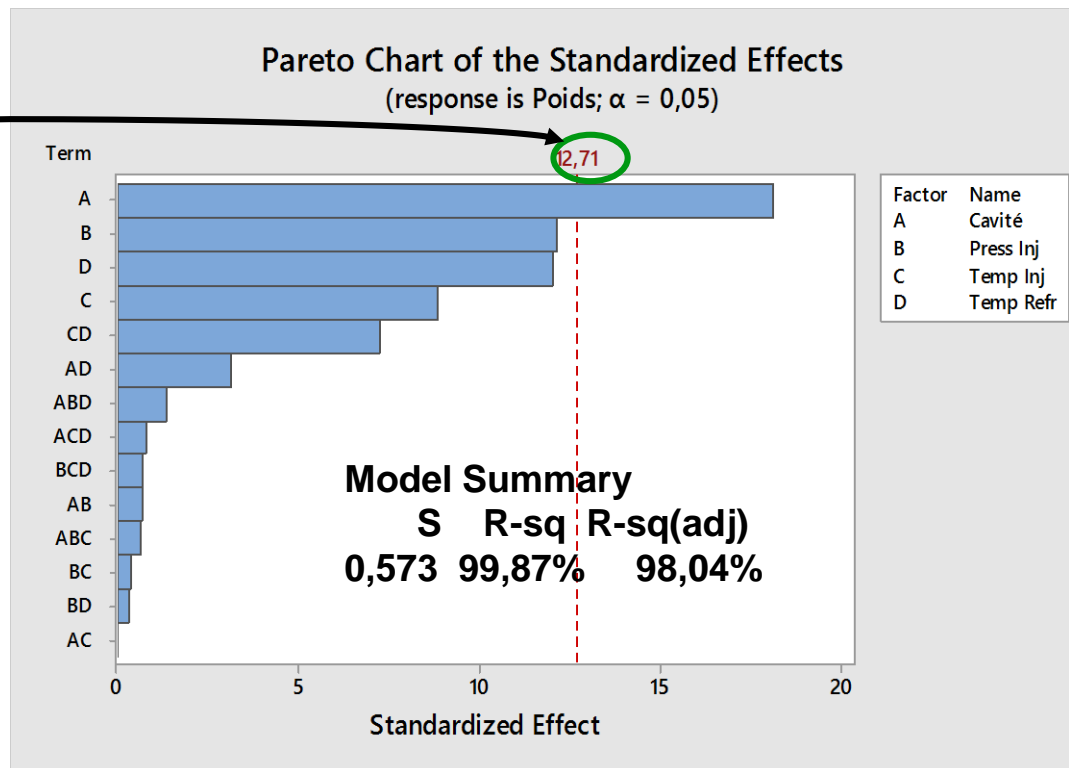
	M	PI	TI	TR
Coef	2,60	1,74	1,27	1,72
Effet	5,19	3,47	2,54	3,45

■ Calculer les effets et les coefficients des interactions de la régression

Coef +Effet	M*PI		M*TR		PI*TR		M*PI*TI		M*TI*TR		M*PI*TI*TR	
	(0,099)	(0,198)	(0,449)	(0,898)	0,046	0,092	0,090	0,180	(0,115)	(0,230)	(0,144)	(0,288)
	M*TI		PI*TI		TI*TR		M*PI*TR		PI*TI*TR			
	(0,004)	(0,008)	0,054	0,108	1,039	2,078	(0,193)	(0,386)	0,100	0,200		

■ Etablir le tableau ANOVA et procéder au filtrage (screening)

Source	Df	SS	MSS	F	P
Modèle	14	251,313	17,95	49,66	0,1108
Linéaire	4	229,48	57,37	158,72	0,0595
Moule	1	107,83	107,83	298,31	0,0000
Pression	1	48,22	48,22	133,40	0,0055
Température	1	25,91	25,91	71,68	0,0748
Temps ref	1	47,53	47,53	131,49	0,0554
2-Interaction	6	20,735	3,46	9,56	0,2426
M*PI	1	0,167	0,16	0,43	0,6292
M*TI	1	0,000	0,00	0,00	0,9851
M*TR	1	3,226	3,23	8,92	0,2056
PI*TI	1	0,047	0,05	0,13	0,7804
PI*TR	1	0,034	0,03	0,09	0,8109
TI*TR	1	17,272	17,27	47,79	0,0915
3-Interaction	4	1,095	0,27	0,76	0,6854
M*PI*TI	1	0,131	0,13	0,36	0,655
M*PI*TR	1	0,593	0,59	1,64	0,422
M*TI*TR	1	0,210	0,21	0,58	0,5856
PI*TI*TR	1	0,162	0,16	0,45	0,6248
Erreur	1	0,361	0,36	1,00	0,5
Total	15	251,67			



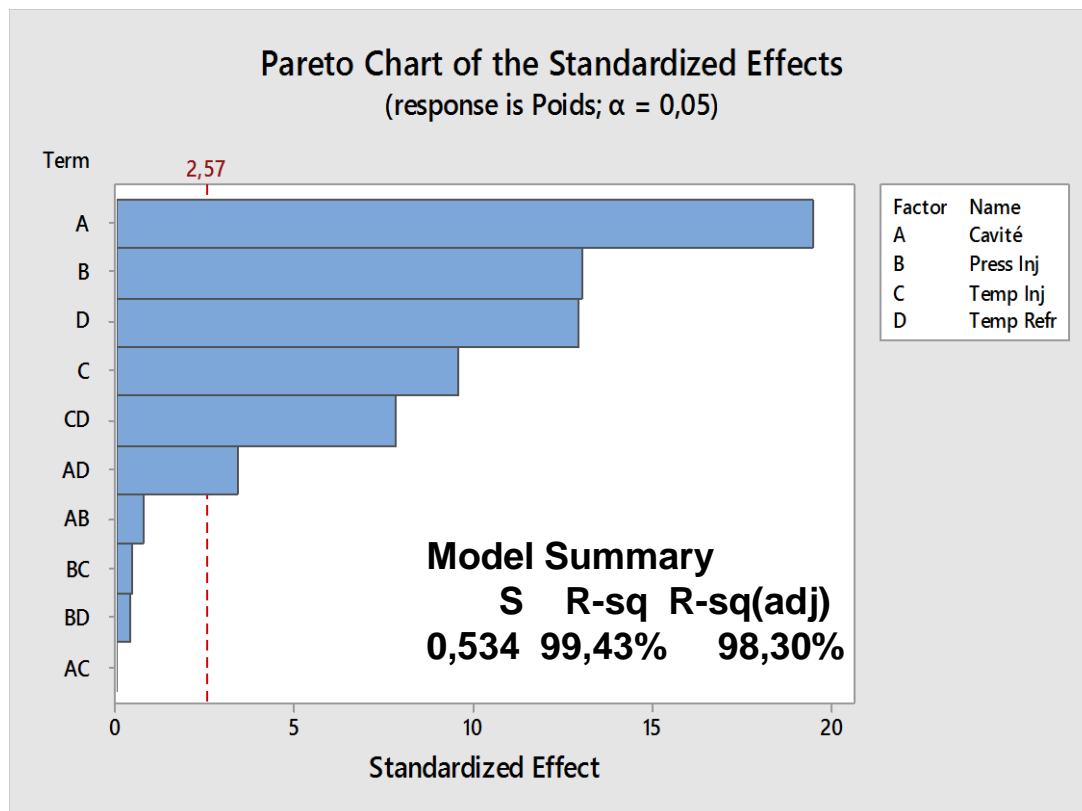
Etape 7: examiner les interactions significatives (valeur-p < .05). Evaluer la signification des interactions les plus importantes d'abord.

Pour les interactions à 3 directions, déclasser les données superposées et analyser.

Une fois que les interactions les plus importantes ont été interprétées, analyser l'ensemble suivant d'interactions un peu moins importantes.

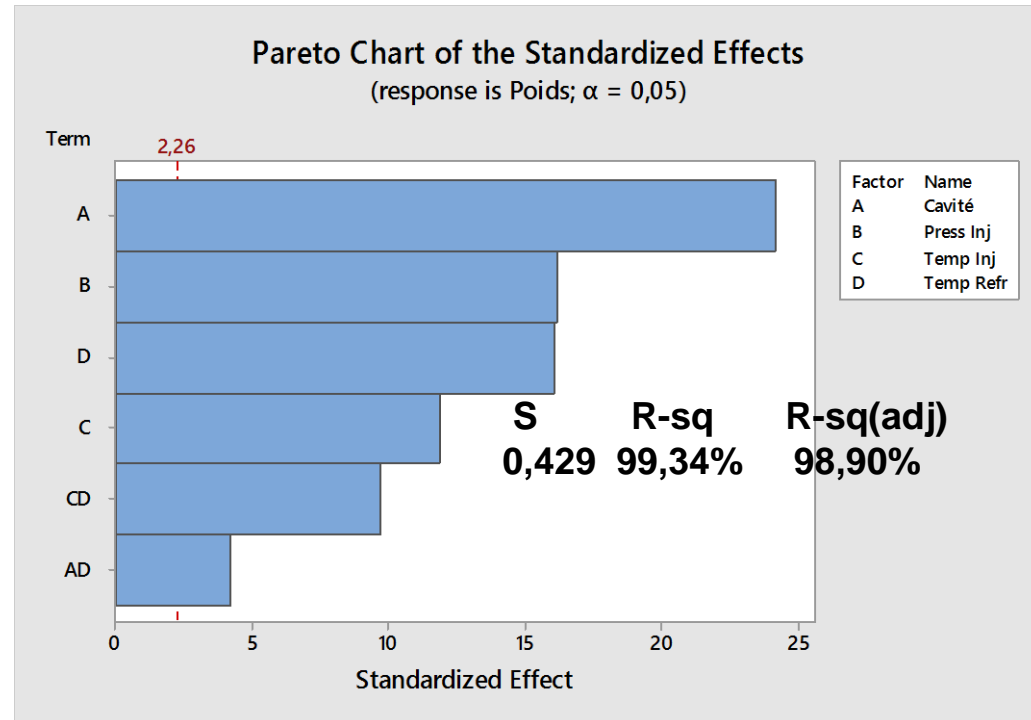
Etape 8: examiner les interactions significatives (valeur-p < .05).

Source	Df	SS	MSS	F	P
Modèle	10	250,217	25,02	85,9	0,000
Linéaire	4	229,48	57,37	196,9	0,000
Moule	1	107,83	107,8	370,1	0,000
Pression	1	48,22	48,22	165,5	0,000
Température	1	25,91	25,91	88,9	0,000
Temps ref	1	47,53	47,53	163,1	0,000
2-Interaction	6	20,735	3,46	11,9	0,008
M*PI	1	0,157	0,16	0,5	0,496
M*TI	1	0,000	0,00	0,0	0,980
M*TR	1	3,226	3,23	11,1	0,021
PI*TI	1	0,047	0,05	0,2	0,706
PI*TR	1	0,034	0,03	0,1	0,747
TI*TR	1	17,272	17,27	59,3	0,001
Erreur	5	1,457	0,29	1,0	0,500
Total	15	251,67			



- On élimine les interactions niveaux -2 non significative du modèle et on rétabli le tableau ANOVA

Source	Df	SS	MSS	F
Modèle	10	249,980	25,00	85,8
Linéaire	4	229,48	57,37	196,9
Moule	1	107,83	107,8	370,1
Pression	1	48,22	48,22	165,5
Température	1	25,91	25,91	88,9
Temps ref	1	47,53	47,53	163,1
2-Intéraction	6	20,498	3,42	11,7
M*TR	1	3,226	3,23	11,1
TI*TR	1	17,272	17,27	59,3
Erreur	5	1,694	0,34	1,2
Total	15	251,67		



Etape 9: énoncer le modèle mathématique obtenu. Si possible calculer epsilon au carré et déterminer la signification pratique.

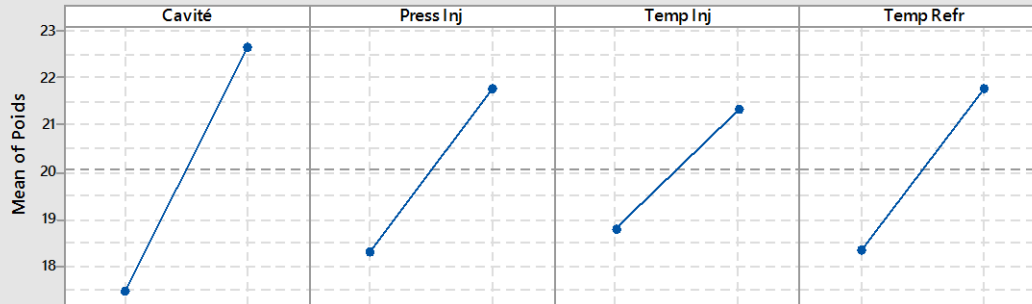
Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	20,059	0,107	186,76		0,000
Cavité	5,192	2,596	0,107	24,17	0,000
Press Inj	3,472	1,736	0,107	16,16	0,000
Temp Inj	2,545	1,272	0,107	11,85	0,000
Temp Refr	3,448	1,724	0,107	16,05	0,000
Cavité*Temp Refr	-0,898	-0,449	0,107	-4,18	0,002
Temp Inj*Temp Refr	2,078	1,039	0,107	9,67	0,000

$$\text{Poids} = 20,059 + 2,596 \text{ Cavité} + 1,736 \text{ Press Inj} + 1,272 \text{ Temp Inj} + 1,724 \text{ Temp Refr} - 0,449 \text{ Cavité*Temp Refr} + 1,039 \text{ Temp Inj*Temp Refr}$$

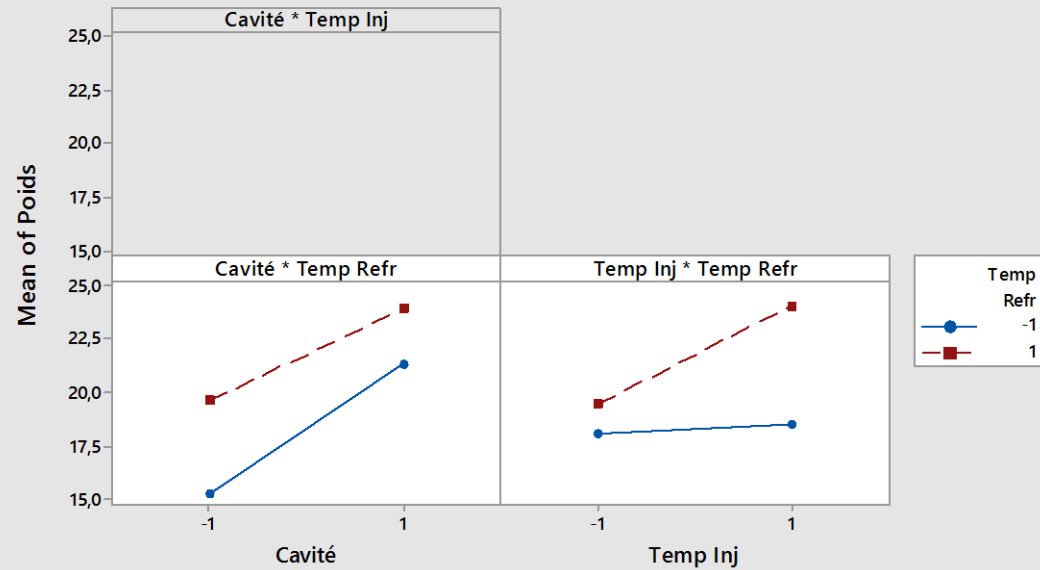
Main Effects Plot for Poids

Fitted Means



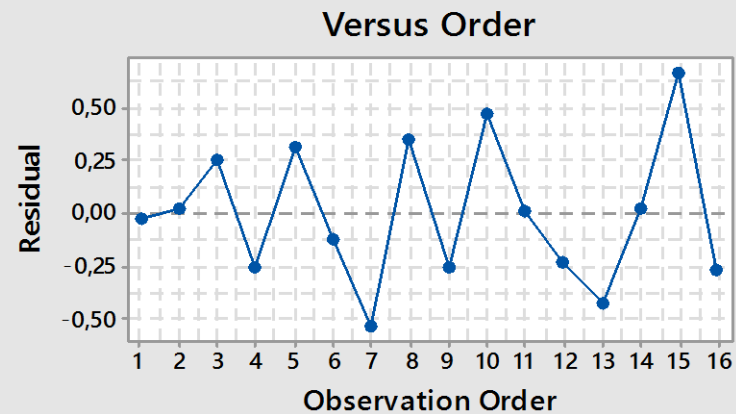
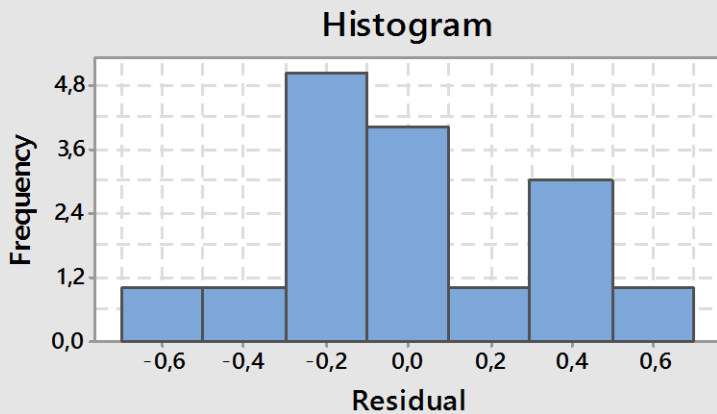
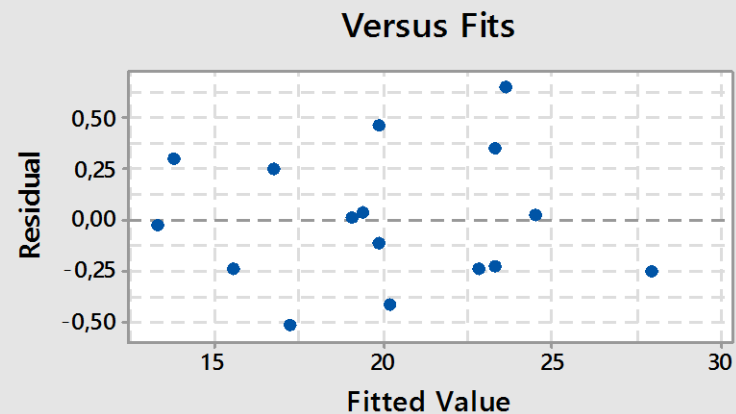
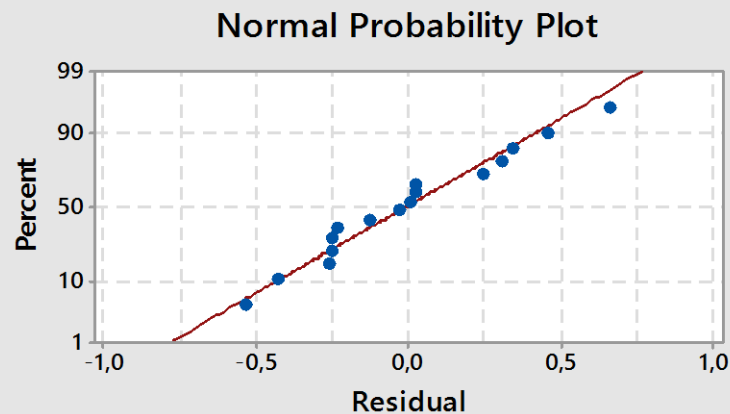
Interaction Plot for Poids

Fitted Means



Etape 6: examiner les graphiques de valeurs résiduelles pour s'assurer que le modèle est adéquat.

Residual Plots for Poids



- **Etape 10: traduire le modèle mathématique en termes de processus et formuler des conclusions et recommandations.**
- **Etape 11: reproduire les conditions optimales. Planifier l'expérience suivante ou mettre en œuvre le changement.**

Questions?