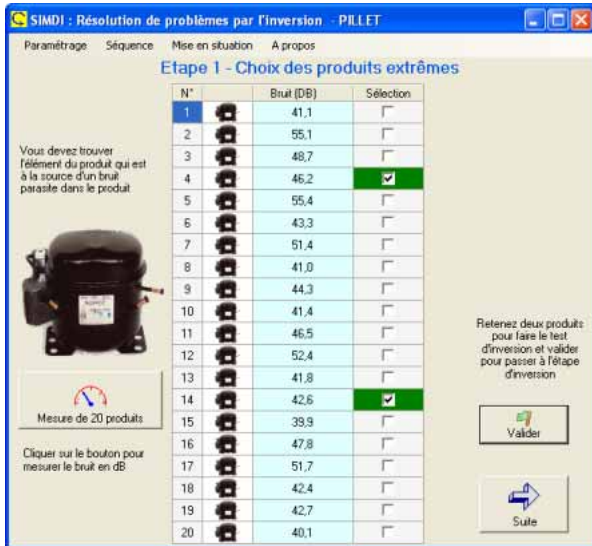


SIMDI - Simulateur Inversion

« Les élèves réalisent un test d'inversion dans le temps réduit d'une formation »

Objectifs du simulateur



Simuler conduite d'un test d'inversion proposé par Dorian Shainin afin de rechercher la pièce et la caractéristique responsable de non-qualité dans un produit démontable.

Apport pédagogique de la séquence de formation

- Enseignement de la méthode d'inversion
- Introduction aux études de corrélation
- Réflexion sur les méthodes de résolution de problèmes

Le problème à résoudre

Une entreprise qui fabrique des compresseurs de réfrigérateurs constate de forte disparité sur le bruit de ses produits. Certains compresseurs sont peu bruyant, d'autres sont au contraire très bruyant.

Le but de ce simulateur est de trouver quelles sont la (ou les) caractéristique(s) élémentaire(s) à l'origine de ce bruit.

La méthode d'inversion de Shainin

Objectif : déterminer quel est le composant coupable d'un problème qualité dans un assemblage démontable.

Hypothèses :

- On dispose d'un produit bon A et d'un produit mauvais B
- On sait mesurer la réponse à optimiser
- On est capable de démonter et de remonter le système
- On dispose d'un certain nombre de composants suspects

Les étapes :

- Étape 1 - Isoler les extrêmes
- Étape 2 - identifier la variabilité
- Étape 3 - Échanger les constituants
- Étape 4 - Faire l'essai chapeau de vérification
- Étape 5 - Faire le plan d'expériences complet

Le simulateur permet de réaliser chacune de ces étapes, les calculs peuvent être réalisés à la main ou à l'aide du fichier Excel "inversion.xls"

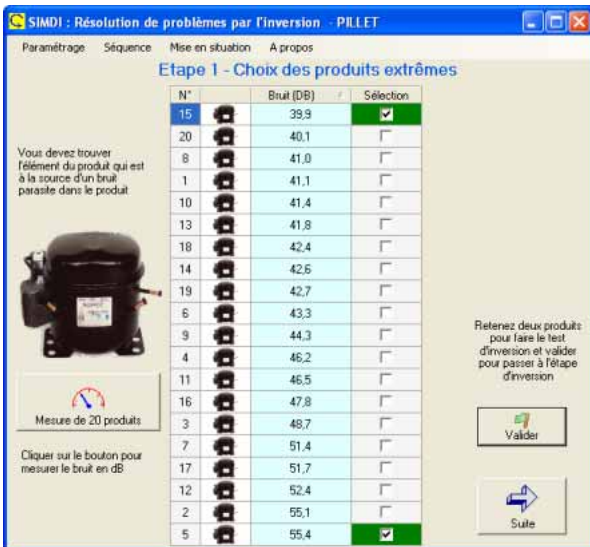
Utilisation du simulateur

Étape 1 - Isoler les extrêmes

La méthode :

Mesurer un lot de produit, et isoler deux produits très éloignés B et M

Pour réaliser cette première étape, on mesure une série de 20 compresseurs en cliquant sur le bouton.



On retient les deux compresseurs extrêmes en cochant la case "sélection".

Pour identifier les deux extrêmes, on peut cliquer sur la colonne Bruit pour classer les compresseurs.

Après avoir noté les valeurs du bruit des 2 composants extrêmes, on passe à l'étape suivante en cliquant sur "suite"

Étape 2 - identifier la variabilité

La méthode :

- Démontez et remontez les produits A et B une première fois, et mesurez
- Démontez et remontez les produits A et B une seconde fois, et mesurez
- Calculez l'étendue moyenne de démontage remontage \bar{R}
- Calculez l'écart type de démontage remontage $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2^*}$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2^*}$$

d_2^* est pris dans le tableau ci-dessous

		Nombre de sous-groupes = Nombre de produits					
		1	2	3	4	5	6
Nb de montage	2	1,414	1,279	1,231	1,206	1,191	1,181
	3	1,912	1,806	1,769	1,750	1,739	1,731
	4	2,239	2,151	2,121	2,105	2,096	2,090
	5	2,481	2,405	2,379	2,366	2,358	2,353
	6						

Avec en général 2 produits et 3 montages, on prend $d_2^* = 1.806$

- Faire le test de Fisher (test t) pour valider si les deux populations sont statistiquement différentes

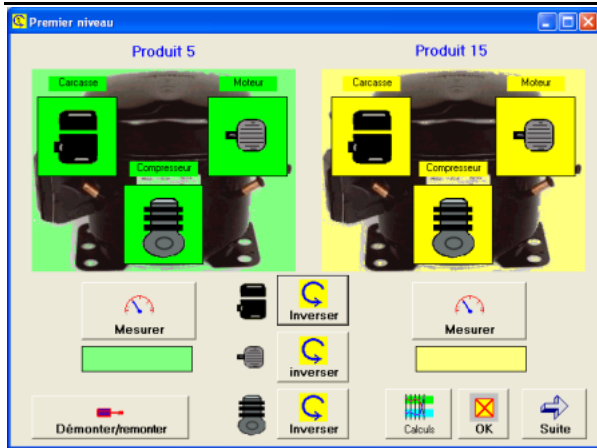
On vérifie si la différence entre les deux moyennes $D > 1,25 \bar{R}$

Si OUI on suspecte les composants

Si NON on suspecte le montage

- Calculer les deux plages de contrôle à $\pm t s$ (95% de la population)

Pour réaliser cette étape, on utilise la séquence inversion n°1 qui permet d'échanger des macro-composants dans le compresseur.

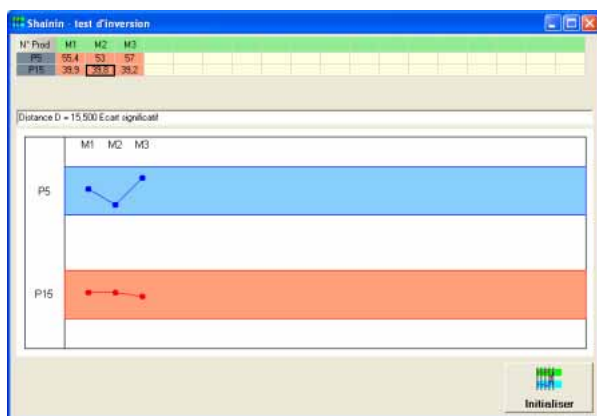
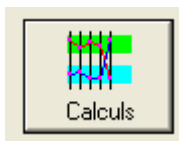


On démonte et remonte 2 fois le produit en appuyant sur



Cette étape permet de déterminer les plages de contrôle.

On peut afficher une fenêtre des calculs du test d'inversion en cliquant sur



On passe alors à l'étape d'inversion en inversant successivement le corps, le moteur et le compresseur jusqu'à trouver le X rouge ou plusieurs X rose.

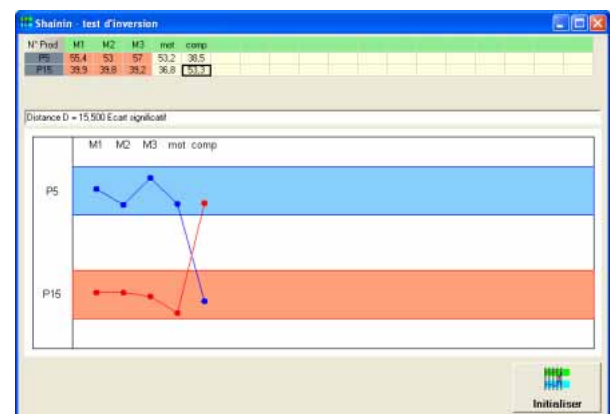
Étape 3 - Echanger les constituants

La méthode :

On échange tour à tour les composants I, J, K, L susceptibles de créer le défaut par démontage remontage et on mesure le résultat.

- Si le A reste le A et le B reste le B, le composant I échangé n'intervient pas
- Si le A devient le B, et le B le A, le composant I échangé et le principal responsable du défaut, on peut arrêter les échanges
- S'il y a un échange partiel entre le composant A et B, le composant I échangé n'est pas le seul responsable du défaut, il y a interaction avec un autre composant, il faut continuer l'échange.
- A chaque démontage remontage, on remet les pièces I, J.. dans leurs produits originaux pour s'assurer que les conditions initiales restent les mêmes

L'inversion se fait en cliquant sur le bouton inverser. L'animation montre les composants échangés. A chaque nouvelle inversion, on remplace les composants à leur place d'origine.



Dans ce cas de figure l'inversion du compresseur à provoquer l'inversion du bruit, c'est donc le compresseur qui est à l'origine du bruit.

Après avoir remis les composants dans leur état d'origine, on passe à l'étape 2 des pièces élémentaires.

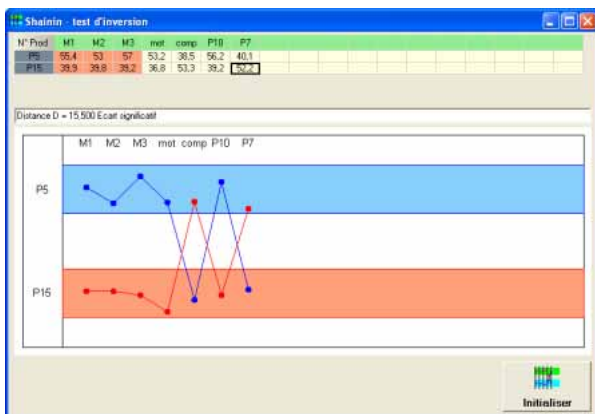
Séquence inversion niveau 2

Le principe de l'inversion des pièces élémentaires est le même que pour les macro composant. Cependant, le premier niveau de macro inversion a permis d'éliminer des pièces suspectes, toutes les pièces du corps et du moteur. On ne s'intéresse qu'aux pièces du compresseur.

On recommence la même étude que précédemment.



Dans ce cas, dès l'inversion de la pièce 7 on a l'inversion du bruit, c'est l'X rouge, on peut arrêter l'inversion. La pièce 7 est responsable seule du bruit.



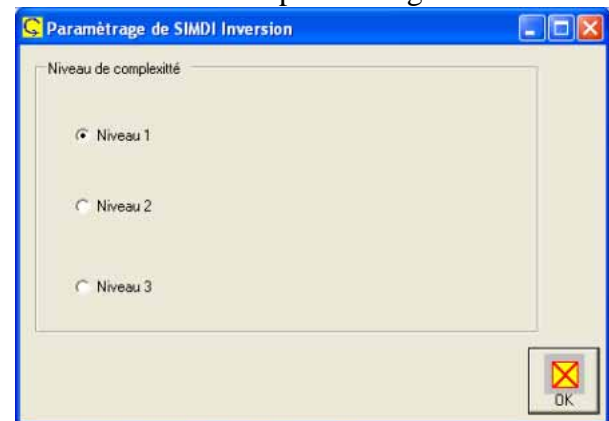
Etape 4 - Faire l'essai chapeau de vérification

La méthode :

On inverse tous les composants qui ont une influence sur la réponse, on doit avoir une inversion totale des résultats

Dans l'exemple simple de la première manipulation, une seule pièce est à l'origine du défaut, il n'y a pas lieu de faire d'essai chapeau de vérification.

Par la suite, il est possible de créer des simulations plus complexes en paramétrant le niveau dans le menu paramétrage



Pour les niveaux 2 et 3, plusieurs pièces participent à la non-qualité.

Etape 5 - Plan d'expériences complet

La méthode :

Pour valider et chiffrer l'influence des facteurs déclarés significatifs par l'inversion, on réalise un plan complet pour déterminer les effets et les interactions de chaque facteur.

Dans l'exemple simple de la première manipulation, une seule pièce est à l'origine du défaut, il n'y a pas lieu de faire de plan d'expériences complet.

Etape 6 – Recherche de la caractéristique

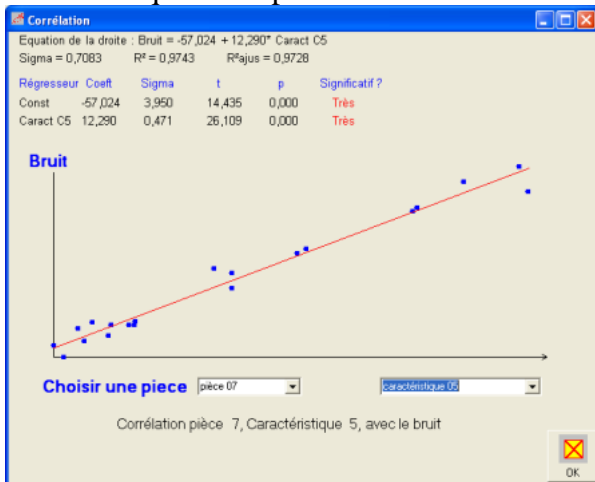
Il faut maintenant rechercher la caractéristique de la pièce 7 à l'origine de ce bruit. Comme il est évidemment impossible de procéder par inversion, on utilise les tests de corrélation.



N°	Bruit	Caract 1	Caract 2	Caract 3
1	42.9	15.31	12.54	9.81
2	54.1	14.74	11.90	10.21
3	48.0	14.94	11.97	9.06
4	46.3	15.00	12.23	9.88
5	53.0	15.05	11.94	10.10
6	46.6	15.06	12.08	10.19
7	51.2	14.78	12.15	9.99
8	42.7	15.01	12.03	9.28
9	42.9	14.92	11.49	10.67
10	40.6	15.10	11.88	9.54
11	45.5	14.89	11.99	10.14
12	50.9	14.76	11.54	10.61
13	41.8	15.07	11.65	10.60
14	43.0	14.85	12.00	9.99
15	41.5	15.36	12.08	9.79
16	46.9	14.68	11.93	9.84
17	52.3	14.91	11.88	9.87
18	43.1	15.35	12.08	9.92
19	43.2	15.13	11.98	10.59
20	42.2	14.70	12.06	10.51

La fenêtre "tableau des cotes des pièces" permet d'afficher l'ensemble de 6 caractéristiques qui peuvent être mesurées sur la pièce coupable 7.

La fenêtre "Corrélation" permet d'afficher le graphique de corrélation entre le bruit et une caractéristique d'une pièce.



On retrouve ainsi facilement la caractéristique coupable et les tolérances qu'il convient de fixer sur cette caractéristique pour limiter le bruit des compresseurs.

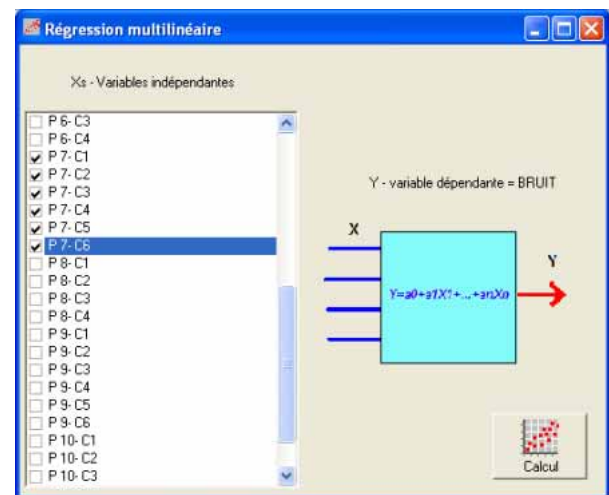
On rappelle brièvement les résultats d'une régression linéaire :

L'équation donnée permet de relier le bruit à la caractéristique X.

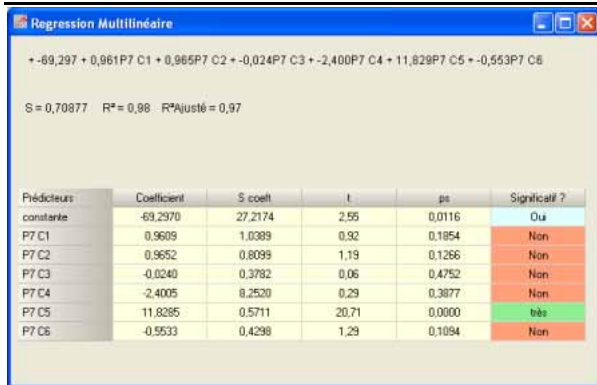
Le coefficient R^2 indique la part de la variance de Y qui est la conséquence des variations de X. Le coefficient R^2 ajusté tient compte du nombre de degrés de liberté, c'est celui ci qu'il faut prendre en compte.

Pour savoir si les coefficients sont significatifs (surtout la pente dans ce cas de figure) on fait un test de Student. Si la probabilité que le coefficient soit une variation aléatoire autour de 0 est inférieure à 0.05, on conclut que le coefficient est significatif.

La corrélation multiple sert à trouver parmi plusieurs X suspects, lequel ou lesquels sont significatif. Dans le cas du premier niveau on prendrait par exemple toutes les caractéristique de la pièce 7 :



La corrélation multiple donne :



Regression Multilinéaire

$$+ -89,297 + 0,961P7 C1 + 0,965P7 C2 + -0,024P7 C3 + -2,400P7 C4 + 11,828P7 C5 + -0,553P7 C6$$

S = 0,70877 R² = 0,98 R²Ajusté = 0,97

Predicteurs	Coefficient	S coeft	t	ps	Significatif ?
constante	-89,2970	27,2174	2,55	0,0116	Oui
P7 C1	0,9609	1,0389	0,92	0,1854	Non
P7 C2	0,9652	0,8099	1,19	0,1266	Non
P7 C3	-0,0240	0,3782	0,06	0,4752	Non
P7 C4	-2,4005	8,2520	0,29	0,3877	Non
P7 C5	11,8285	0,5711	20,71	0,0000	très
P7 C6	-0,5533	0,4298	1,29	0,1094	Non

On voit immédiatement que la caractéristique 5 est corrélée au bruit.

Les niveaux de simulation 2 et 3

Ces niveaux permettent de simuler des phénomènes plus complexes.

Dans le niveau 2, deux pièces participent au défaut (pièces 7 et 10)

Dans le niveau 3, il y a également 2 pièces (8 et 9) mais 2 caractéristiques de la pièce 8 et une caractéristique de la pièce 9.

Il y a de plus une interaction entre la pièce 8 et 9 telle que le montre le graphe de la figure suivante :

