

Évaluation d'un processus de mesure avec *STATISTICA*

Bernard CLÉMENT, PhD

Copyright © Génistat Conseils Inc., 2009, Montréal, Canada

TABLE des MATIÈRES (1 / 3)

- **Questions**
- **Rôle des mesures**
- **Terminologie**
- **Méthodes d'évaluation**
 - **cartes de contrôle de processus (SPC)**
 - **ANOVA**
- **Caractérisation**
 - **cohérence (homogénéité)**
 - **précision**
 - **biais**
 - **coefficient corrélation intra classe**
- **Évaluation**
 - **un facteur**
 - **deux facteurs**
- **Utilisation**

TABLE des MATIÈRES (2 / 3)

- Questions fréquentes à propos des mesures
- **Utilisation des mesures**
- **Terminologie**
- **Méthodes d'évaluation des processus de mesure**
 - ANOVA
 - cartes de contrôle de processus (SPC)
- **Caractérisation du processus de mesure**
 - cohérence (homogénéité)
 - précision
 - biais
 - coefficient corrélation intra classe

EPM - ÉVALUATION PROCESSUS DE MESURE : test NON destructif

Facteurs impliqués	Opé- rateur O	Pièce (même produit) P	Répé- tition R	Instru- ment ou sites I	facteur nuisible	remarque
nombre valeurs typiquement =	o 2 à 4	p 10 à 20	n 2 à 4	d 1 ou 2	-----	échantillonnage représentatif
EPM 1: caractérisation	1	p	n	1	aucun	mesures répétées
EPM 2 : 1 facteur	o	p	n	1	Opérateur	P x O
EPM 3: 2 facteurs croisés	o	p	n	d	Opérateur Instrument	P x O x I I croisé avec O
EPM 4: 2 facteurs emboîtés	o	p	n	d	Opérateur Instrument	P x (O et I) I emboité dans O

EPM 5: ÉVALUATION avec TEST DESTRUCTIF : P(produit) emboité dans O(opérateur)

Utilisation de données imparfaites

- valeur des études R&R
- échelle de mesure adéquate
- données censurées
- prédiction
- nombre de décimales à retenir
- l'utilité d'un système de mesure

RÉFÉRENCES

EMP III Using Imperfect Data (2006)

Donald J. Wheeler

SPC Press, Knoxville, Tennessee 37919 USA

An Honest Gauge R&R Study (2009)

Donald J. Wheeler

Manuscript No 189

www.spcpress.com

Gauge R&R Study, 3rd edition

Auto Industry Action Group (AIAG)

American Society for Quality

StatSoft, Inc. (2009). STATISTICA

data analysis software system version 9.0

Tulsa, Oklahoma , 74104 USA

www.statsoft.com

Évaluation sans FACTEURS NUISIBLES

Exemple 1 : alliage chrome-acier d'un poids nominatif de 10 grammes
mesures durant les 30 premières semaine de 1963
NB10 = XXX dans 9,999 XXX (données: National Bureau of Standard)

Exemple 2 : 100 mesures d'un standard de référence
données obtenues par 2 techniciens

Exemple 3 : mesures viscosité produit 10F

Exemple 4 : données de NB10 (exemple 1) / estimation de σ_e

Exemple 5 : données de viscosité (ex. 3) / estimation de l'erreur probable

Exemple 6 : données de NB10 (exemple) / incrément OK?

Exemple 7 : données NB10 / évaluation biais

Exemple 8 : 30 déterminations d'un standard de référence égal à 13,500

Exemple 10 : mesures viscosité produit 10F / coefficient intra classe

Exemple 11 : jauge 702 produit 833 - 10 pièces avec 3 lectures

Exemple 12 : comparaison de 2 appareils pour mesurer viscosité
produit 20F - 10 lots (batch) - appareils : U-Tube / Cone & Plate

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE AVEC PRÉSENCE DE FACTEURS NUISIBLES

Exemple 13: jauge 109 – o = 3 opérateurs p = 5 pièces n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron)

Exemple 14: gasket thickness – o = 3 opérateurs p = 5 pièces n = 2 rép.
mesure = épaisseur (thick) (unité = mils)

Exemple 15: jauge 130 – o = 3 opérateurs p = 5 pièces n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron) - étude 1

Exemple 16: jauge 130 – o = 3 opérateurs p = 5 pièces n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron) - étude 2

Exemple 17: étude 33 – o = 3 opérateurs p = 6 pièces n = 2 répétitions
mesure = caractéristique sur tranche silicium (unité=micron)

Exemple 18: test compression – o = 2 opérateurs p = 5 pièces n = 3 rép.
mesure = caractéristique force compression (unité=pounds)

Exemple 19: test compression – o = 2 opérateurs p = 5 pièces n = 3 rép.
mesure = caractéristique force compression (unité=pounds)

Exemple 20 : manual test stand – o = 6 opérateurs p = 4 pièces n = 3 rép.
mesure = propriété électromagnétique

Exemple 21 : étude à la ronde (Round Robin) – o = 6 laboratoires
p = 6 produits distincts A B C D E F n = 3 répétitions par produit
mesure = silicat producing volatiles

Exemple 22: méthode test 623 – o = 4 opérateurs d = 2 instruments A et B
opérateur croisé avec instrument (plan croisé)
p = 3 pièces (lot) n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron)

Exemple 23: méthode test 623 – o = 8 opérateurs d = 3 sites plant A / B / C
opérateur emboîté dans site (plant) (plan emboîté)
op. 1-2-3 dans site A / op. 4-5 dans site B / op. 6-7-8 dans site C
p = 3 batch (b1, b2, b3) et n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron)

Exemple 24: méthode test 623 – o = 3 opérateurs
p = 5 pièces n = 2 répétitions
mesure = épaisseur joint d'étanchéité

Exemple 25: étude R&R avec test destructif
o = 3 opérateurs p = 30 pièce regroupées en 15 paires semblables
n = 2 pseudo répétitions
mesure = réponse

Questions fréquentes à propos des mesures

1. Les mesures sont-elles homogènes? (cohérentes, uniformes)
2. **Quelle est la précision d'un instrument?**
3. Combien de décimales faut-il enregistrées?
4. **Quelle est la résolution effective d'une mesure?**
5. Comment une mesure unique (ou la moyenne de plusieurs mesures) peut-elle être employée pour caractériser une pièce relativement à des limites de spécification?
6. **Est-ce que les mesures sont biaisées relativement à un standard?**
7. Comment comparer différentes techniques (instruments) pour mesurer une caractéristique relative à la qualité d'un produit?
8. **Comment caractériser l'utilité relative d'un système de mesure afin de caractériser un produit particulier?**
9. Que veut dire utilité relative en pratique?
10. **Quand les mesures ne sont-elles pas satisfaisantes pour surveiller un processus de production?**
11. Combien d'information à propos du produit est contenu dans les mesures?
12. **Quelle partie de la variation dans la mesure d'un flot de produit est-elle attribuable à l'erreur de mesure?**
13. Peut-on détecter des changements néfastes du procédé de fabrication quand ils se produisent?
14. **Est-ce que les mesures montrent des différences significatives d'un opérateur à l'autre, d'une machine à l'autre, d'un laboratoire à l'autre d'un jour à l'autre?**
15. Est-ce que les mesures sont faites avec un incrément suffisamment petit pour refléter la variabilité du processus?
16. **Peut-on placer des données censurées sur une carte de comportement?**
17. Peut-on caractériser un produit qui n'est pas mesuré?
18. **Peut-on employer des mesures afin d'ajuster un processus de fabrication?**
19. Quand peut-on *accepter* ou *rejeter* un lot de produit sur la base de de mesures provenant d'un échantillon de produit provenant du lot?
20. **Que peut-on apprendre d'une étude Gauge R&R conduite selon la méthode proposée par AIAG *Measurement System Analysis*?**

RÔLE DES MESURES

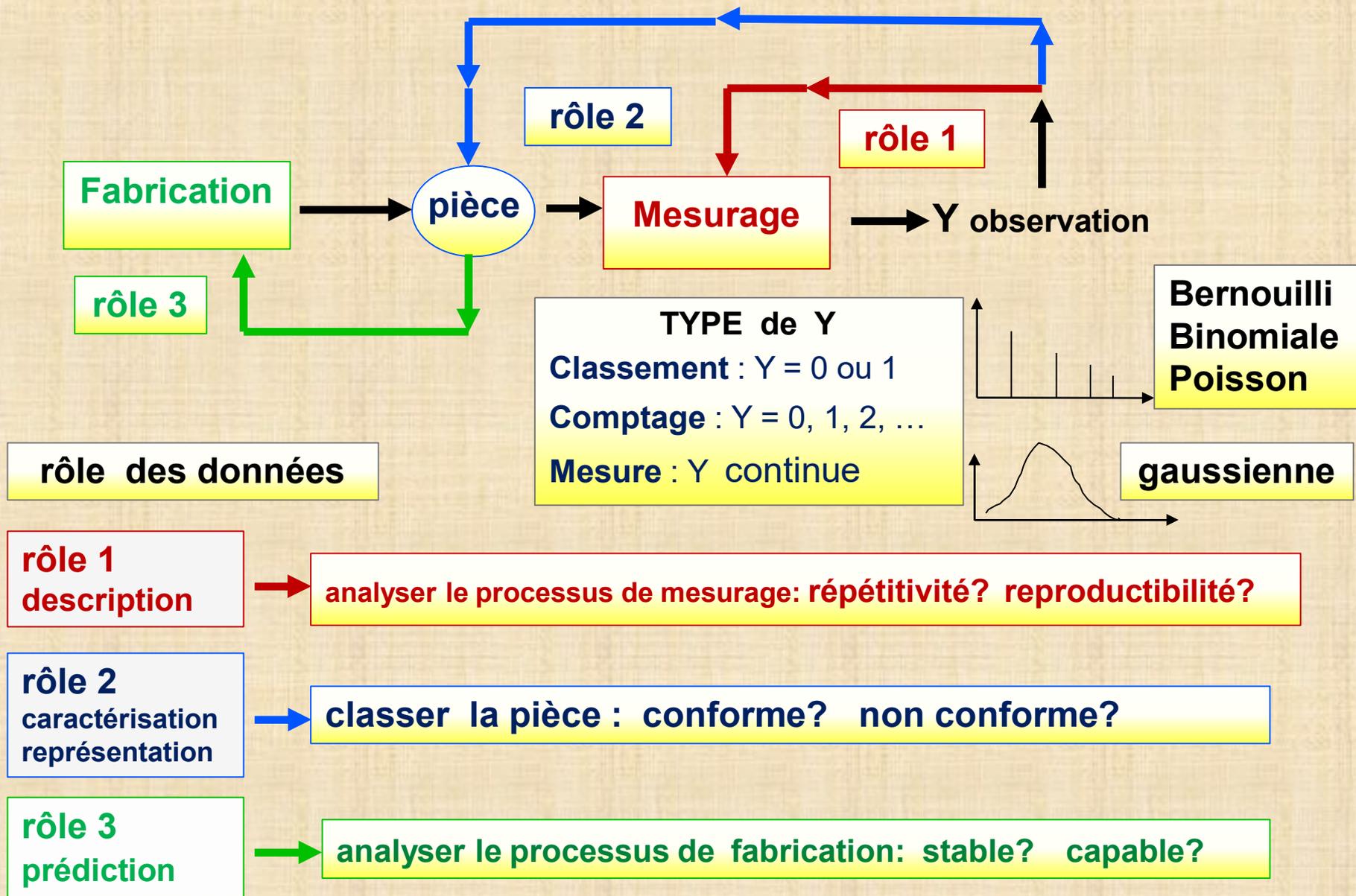
DESCRIPTION de la pièce mesurée
nécessité : connaître l'incertitude de la valeur mesurée
source de variabilité: - processus de mesure

CARACTÉRISATION de la valeur mesurée avec des limites de spécification
nécessaire pour prendre action
sources de variabilité: - processus de mesure
- limites de spécification

REPRÉSENTATION des produits non mesurés provenant d'un lot
relativement à des limites de spécification
sources de variabilité: - processus de mesure
- limites de spécification
- variation du produit (non mesuré vs mesuré)
- procédure de sélection (échantillonnage)

PRÉDICTION pour caractériser les produits à venir d'un processus
extrapolation de l'avenir basé sur le passé
sources de variabilité: - processus de mesure
- variation du produit (non mesuré vs mesuré)
- procédure de sélection (échantillonnage)
- temps

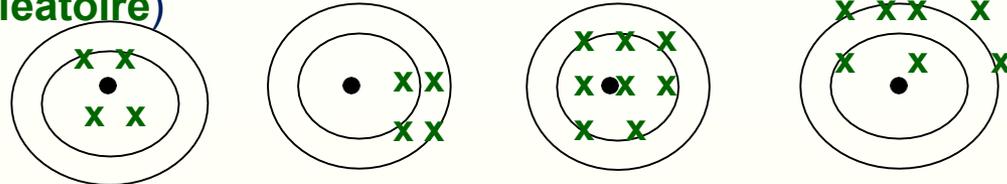
2 processus inséparables: fabrication et mesurage



TERMINOLOGIE (1/3)

JUSTESSE (ou exactitude, « accurate »): écart entre la mesure obtenue et la «vraie» valeur (**erreur systématique**)

PRÉCISION: écart d'un ensemble de mesures par rapport à la valeur moyenne des mesures (**erreur aléatoire**)



juste **oui**
précis **oui**

non
oui

oui
non

non
non

mais on ne sait jamais où est situé le point noir (=vraie valeur) !

RÉPÉTABILITÉ (répétitivité): variabilité mesurée par un écart-type ou un indice dans des conditions où tous les facteurs sont maintenus constants

- 1 opérateur - plusieurs pièces
- n répétitions de la mesure (relectures)
- court laps de temps (court terme)

REPRODUCTIBILITÉ: variabilité mesurée par un écart-type ou un indice dans des conditions où un ou plusieurs facteurs contrôlables sont variés

- plusieurs opérateurs
- plusieurs pièces

remarque: opérateur peut être remplacé par un autre facteur
comme *méthode* ou *périodes temps* ou *instruments*

FIDÉLITÉ: étroitesse de l'accord entre les résultats dans des conditions de RÉPÉTABILITÉ et de REPRODUCTIBILITÉ

TERMINOLOGIE (2/3)

STABILITÉ processus libre de toute source de variabilité spéciale; les mesures obtenues sont homogènes (cohérentes)

remarque: cette condition est **primordiale** et est la plus importante; elle doit être **vérifiée en tout premier**; tout calcul subséquent basé sur les données qui ne satisfait pas cette condition n'a aucune valeur

seule méthode de vérification de la stabilité:

carte de comportement (contrôle) de processus

BIAIS présence ou influence d'un facteur qui fait paraître les données différentes de ce qu'elles sont par l'ajout d'un écart systématique; méthode de détection d'un biais: utiliser des pièces calibrées

CALIBRATION processus par lequel l'appareil est employé avec des pièces calibrées dont les valeurs sont connues ; le résultat observé permet un ajustement normatif de l'appareil (calibrage); cette opération doit se faire selon le besoin démontré

LINÉARITÉ la précision et la justesse sont constantes à l'intérieur d'un intervalle d'application de la mesure

TERMINOLOGIE (3/3)

FACTEURS pouvant contribuer à la variabilité (non qualité) d'une mesure Y	<u>écart type</u>
1. variabilité humaine : opérateur à opérateur	σ_o
2. variabilité unités mesurées : pièce à pièce / lot-à-lot	σ_p
3. variabilité répétition = erreur de mesure de l'appareil = précision appareil	σ_{ep} ou σ_e
4. variabilité temporelle : heure à heure, jour à jour, semaine à semaine,

OBJECTIFS DE L'ÉVALUATION DU PROCESSUS DE MESURAGE

- quantifier la contribution (absolue, relative) de chaque facteur avec des écarts types et des indices
- décider si le processus de mesurage a besoin d'être amélioré

2 MÉTHODES POUR FAIRE L'ÉVALUATION

- **méthode 1 : carte de comportement (contrôle) de processus**
- **méthode 2 : l'analyse de la variance (ANOVA)**

méthode 1 est essentielle ; elle peut être complétée avec la méthode 2 pour les cas plus complexes en utilisant *STATISTICA*

Un modèle conceptuel pour traiter de la qualité des mesures

mesure du produit = valeur du produit + erreur de mesure

M = **P** + **E**

cohérence : prédictibilité du processus de mesure

précision : variation d'un processus de mesure cohérent

biais : moyenne d'un processus de mesure cohérent

cohérence du procédé de fabrication : concerne la cohérence du flux des valeurs P

cohérence d'un flux de valeurs mesurées M doit tenir en compte des incertitudes causées par les erreurs de mesures E

moyenne (M) = moyenne (P) + moyenne (E)
variance (M) = variance (P) + variance (E)

Cohérence d'un processus de mesure

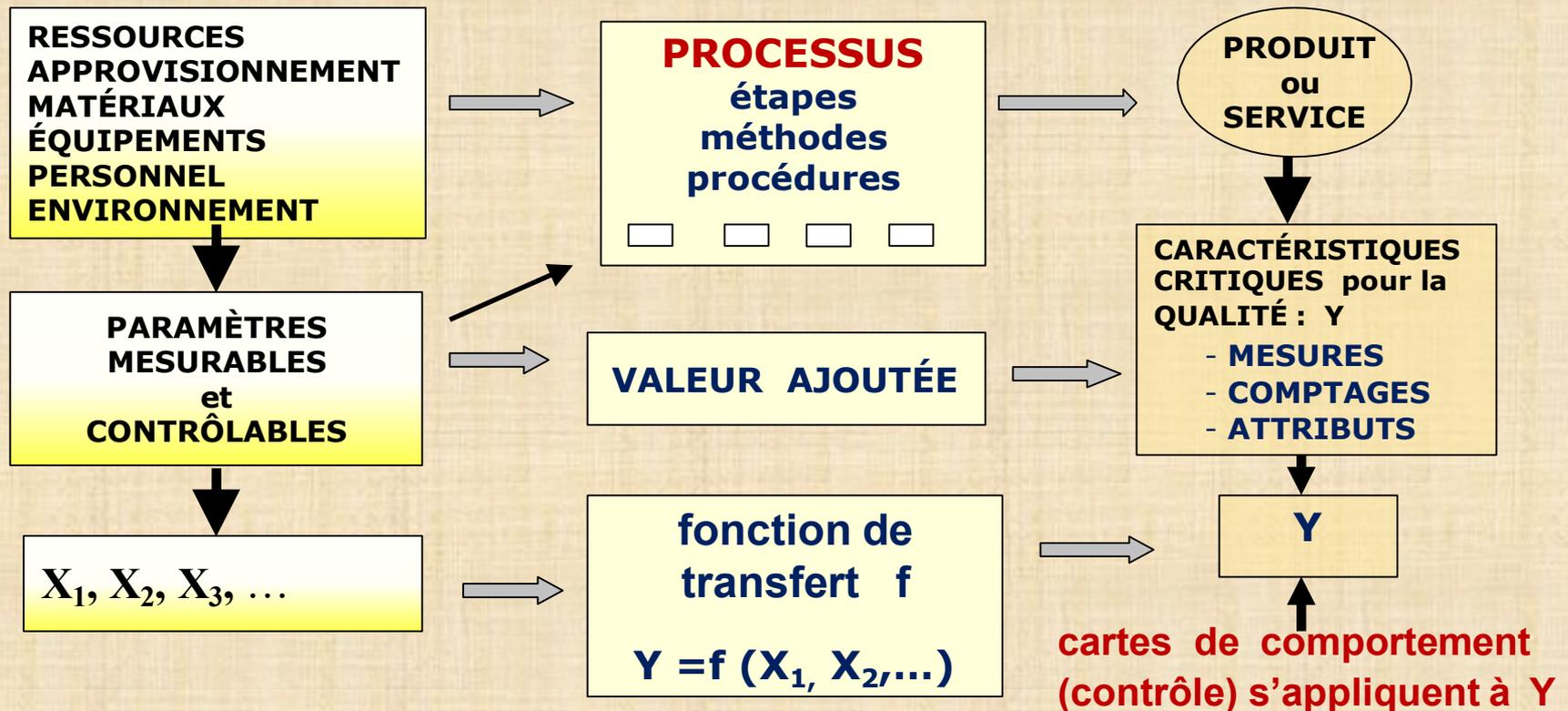
Processus de mesure cohérent (constance) = carte de contrôle (comportement)

Xbar&R ou carte XmR (à valeurs individuelles X et étendues mobiles mR) est en

contrôle **Conséquence**: les données constituent un ensemble homogène (uniforme)

Cartes de contrôle (comportement) de processus (1/ 4)

SPC Statistical Process Control



Cartes de comportement (contrôle) de processus (2 / 4)

BUT de la carte signaler la présence d'une « cause spéciale » qui a produit un **changement** (cause) important dans le comportement statistique du processus

DÉFINITION PROCESSUS STABLE = seulement de la variabilité « naturelle » (inhérente au processus) est présente = causes communes

DÉFINITION STATISTIQUE : paramètres de la distribution de Y sont constants

COMMENT SAVOIR SI UN PROCESSUS EST STABLE?

Seule méthode: cueillir des données provenant du processus et produire le graphique appelé **carte de contrôle** selon les principes développés par Shewhart.

groupe rationnel : concept fondamental pour créer la carte

principale difficulté : définir correctement le groupe rationnel.

nécessaire: identifier les sources de variabilité dans les données: science ... art

SPC: peut constituer une méthode générale d'analyse des données.

LIMITES de CONTRÔLE STATISTIQUE : cas général

W = quantité calculée avec les données: moyenne, étendue, valeur individuelle, proportion,

$UCL_w = \mu_w + 3\sigma_w$ limite de contrôle supérieure

$LC_w = \mu_w$ ligne centrale

$LCL_w = \mu_w - 3\sigma_w$ ligne de contrôle inférieure

μ_w : moyenne de W σ_w : écart type de w

critère principal de hors contrôle: $w > UCL_w$ ou $w < LCL_w$

remarque: les quantités μ_w et σ_w sont **toujours** estimées avec les données

Cartes de contrôle (comportement) de processus (3 / 4)

estimation des paramètres (μ, σ) de la caractéristique Y (notée X dans la suite)

μ = moyenne de X σ = l'écart type de X

k groupes rationnels de taille n: $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ $i = 1, 2, \dots, k \geq 2$

$$\bar{X}_{i} = \sum x_{in} / n \quad R_i = \max(x_{ij}) - \min(x_{ij}) \quad S_i = [\sum (x_{ij} - \bar{X}_{i})^2 / (n-1)]^{0.5}$$

$$\hat{\mu} = \bar{X} = \sum \bar{X}_{i} / k \quad \bar{R} = \sum R_i / k \quad \bar{S} = \sum S_i / k$$

estimation sans biais de σ : $\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$ ou $\hat{\sigma} = \bar{S} / c_4$

constantes d_2 et c_4 dépendent de n - EMP III Using Imperfect Data (2006) p. 258

CARTE	CL	LCL	UCL
moyennes (Xbar&R)	Xbar	Xbar - A2*Rbar	Xbar + A2*Rbar
moyennes (Xbar &S)	Xbar	Xbar - A3*Rbar	Xbar + A3* Rbar
étendues R	Rbar	D3*Rbar	D4*Rbar
écart types S	Sbar	B3*Sbar	D4*Sbar

A_2, A_3, D_3, D_4 : voir
EMP III Using Imperfect
Data (2006) p. 258
aussi: page suivante

carte XmR : valeur individuelles X et étendues mobiles mR

données: X_1, X_2, \dots ordonnées dans le temps

$mR_i =$ étendue mobile = $|X_i - X_{i-1}|$ **groupe rationnel** : (X_{i-1}, X_i) 2 valeurs consécutives

$$\bar{mR} = \sum mR_i / (n - 1)$$

$$\bar{X} = \sum X_i / n$$

carte X: $CL_X = \bar{X}$

$$LCL_X = \bar{X} - 2,66 * \bar{mR}$$

$$UCL_X = \bar{X} + 2,66 * \bar{mR}$$

carte mR: $CL_{mR} = \bar{mR}$

$$LCL_{mR} = 0$$

$$UCL_{mR} = 3,268 * \bar{mR}$$

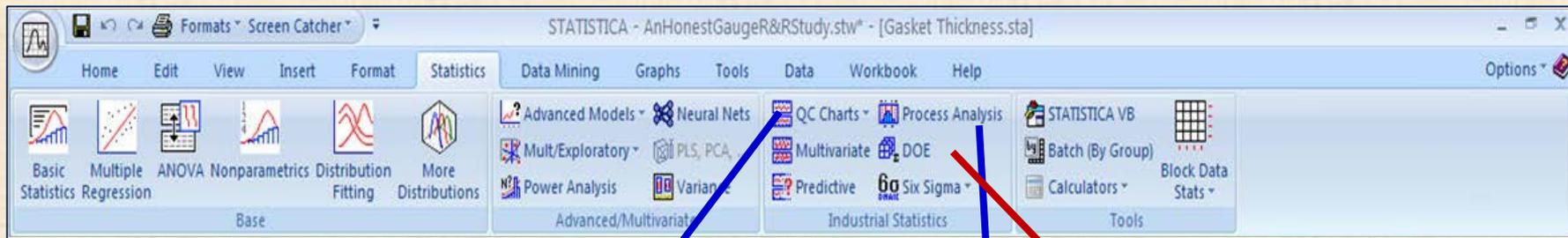
Cartes de contrôle (comportement) de processus (4 / 4)

n	<u>C O N S T A N T E S</u>							
	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	D ₃	D ₄	d ₂	c ₄
2	1.880	2.659	0	3.267	0	3.268	1.128	0.798
3	1.023	1.954	0	2.568	0	2.574	1.693	0.886
4	0.729	1.628	0	2.226	0	2.282	2.059	0.921
5	0.577	1.427	0	2.089	0	2.114	2.326	0.940
6	0.483	1.287	0.030	1.970	0	2.096	2.534	0.952
7	0.419	1.182	0.118	1.882	0.076	1.924	2.704	0.959
8	0.373	1.099	0.185	1.815	0.136	1.864	2.847	0.965
9	0.337	1.032	0.239	1.761	0.184	1.816	2.970	0.969
10	0.308	0.975	0.284	1.716	0.223	1.777	3.078	0.973
15	0.223	0.789	0.428	1.572	0.347	1.653	3.472	0.982
25	0.153	0.606	0.565	1.435	0.459	1.541	3.931	0.990

PRINCIPES

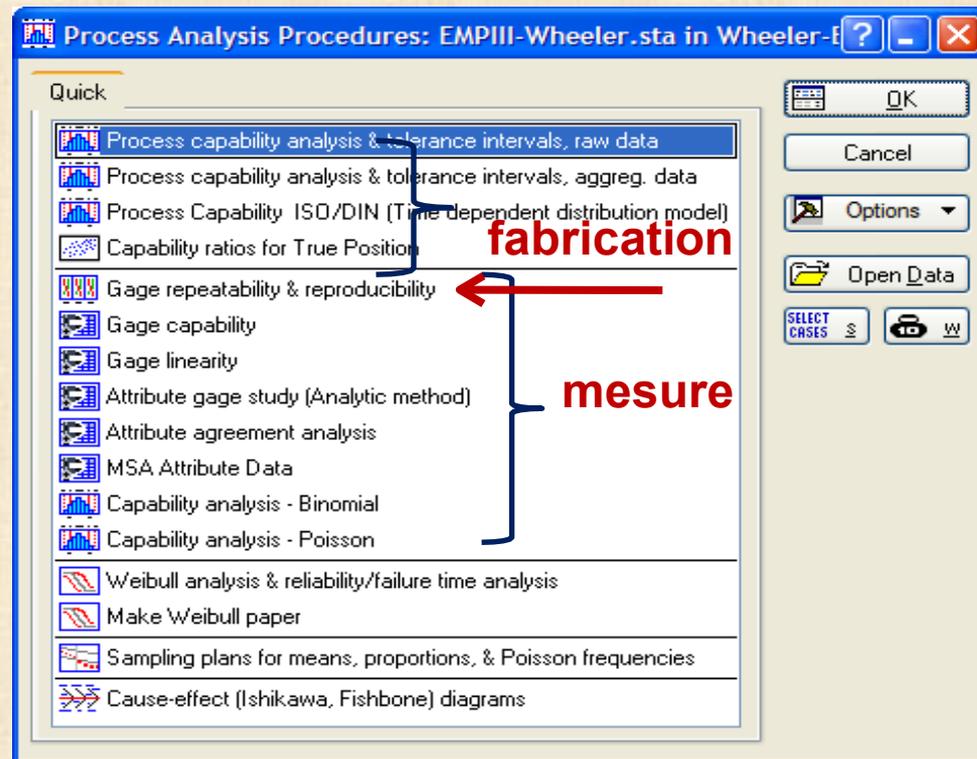
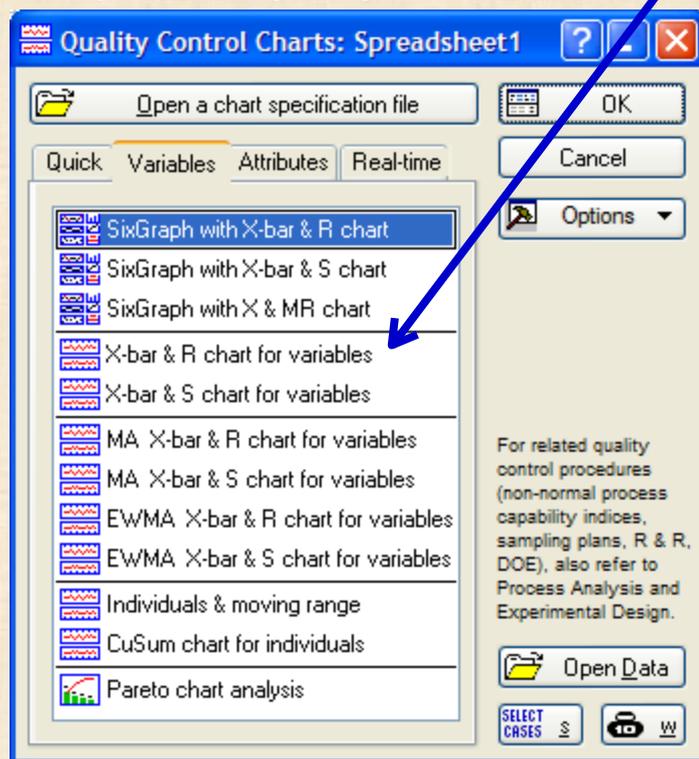
- Les limites de contrôle sont toujours placées à 3 écarts types de la ligne centrale.
- L'estimation de la variabilité du processus (sigma) doit **toujours** être calculée avec la moyenne d'un ensemble de k indicateurs de dispersion.
important : **ne jamais calculer** l'estimation de la variabilité du processus (sigma) avec toutes les données en un seul groupe
- Les données doivent provenir d'un plan d'échantillonnage et être organisées en **groupes rationnels** pour quelles soient utiles.
- L'organisation ou entreprise doit réagir d'une manière appropriée aux connaissances nouvelles qui résultent de l'application des cartes.

STATISTICA : procédures pour l'analyse des processus



carte de comportement
(contrôle) de processus

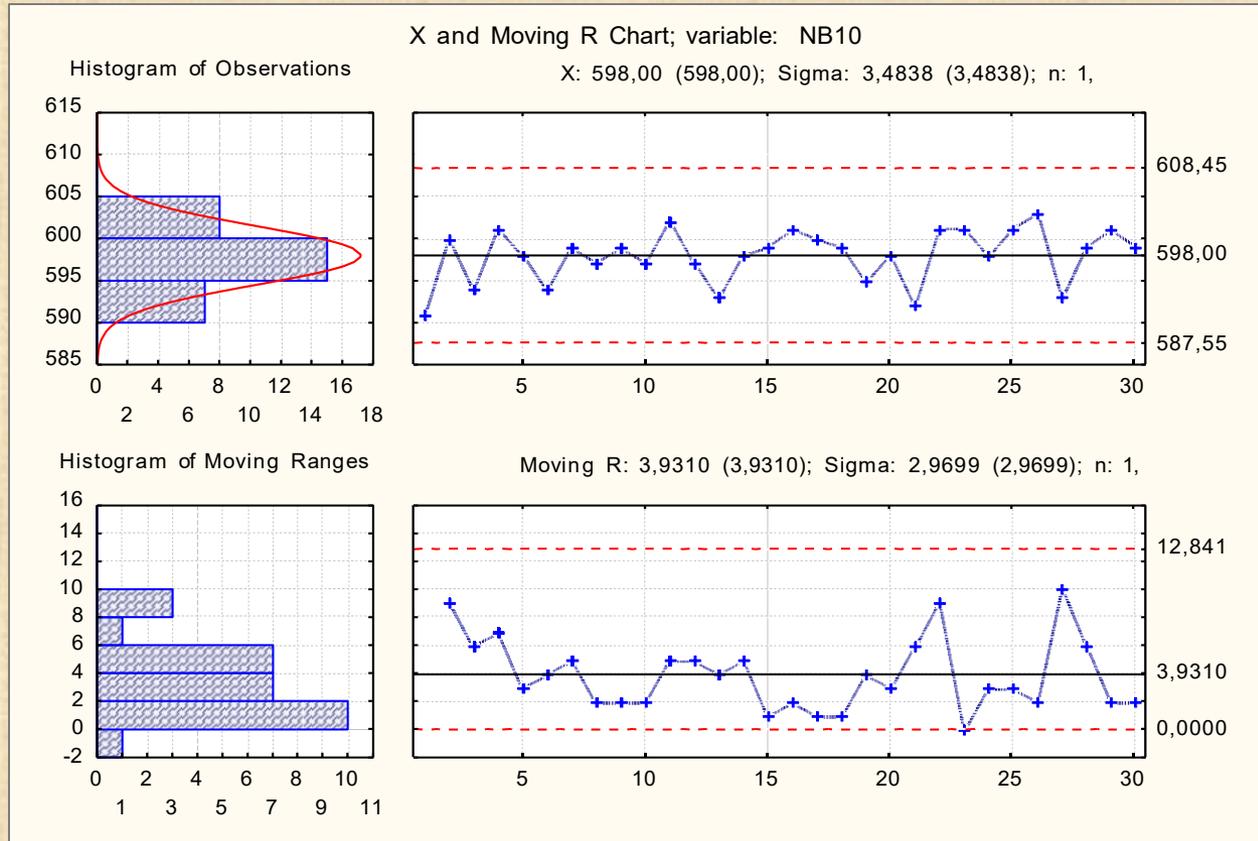
plans d'expériences



Exemple 1: alliage chrome-acier d'un poids nominatif de 10 grammes
mesures durant les 30 premières semaine de 1963
NB10 = XXX dans 9,999 XXX données: National Bureau of Standard

semaine 1963	NB10
1	591
2	600
3	594
4	601
5	598
6	594
7	599
8	597
9	599
10	597
11	602
12	597
13	593
14	598
15	599
16	601
17	600
19	599
19	595
20	598
21	592
22	601
23	601
24	598
25	601
26	603
27	593
28	599
29	601
30	599

carte XmR



Le processus est stable : la variabilité de ces mesures est directement associée à l'erreur de mesure

Méthode 2 : ANOVA

EPM2: facteurs dans une étude Répétitivité et Reproductibilité (R&R)

O: opérateur

P: pièce

R: répétition

MODÈLE ANOVA $Y_{ijk} = \mu + \beta + O_i + P_j + (OP)_{ij} + E_{ijk}$

où Y_{ijk} : mesure obtenue / pièce j / opérateur i / répétition k

μ : «vraie valeur»

β : biais

O_i : effet opérateur

$\sim N(0, \sigma_o^2)$

$i = 1, \dots, o$

P_j : effet pièce

$\sim N(0, \sigma_p^2)$

$j = 1, \dots, p$

OP_{ij} : interaction O x P

$\sim N(0, \sigma_{op}^2)$

E_{ijk} : erreur mesure

$\sim N(0, \sigma_e^2)$

$k = 1, \dots, n$

**hypothèses
simplificatrices**

$\beta = 0$

on suppose que l'appareil est calibré

$\sigma_{op}^2 = 0$

aucun effet d'interaction entre opérateur et la pièce
(sinon il y a un « problème »)

PLAN de collecte des données souvent employé :

o: 2 ou 3

p: au moins 10

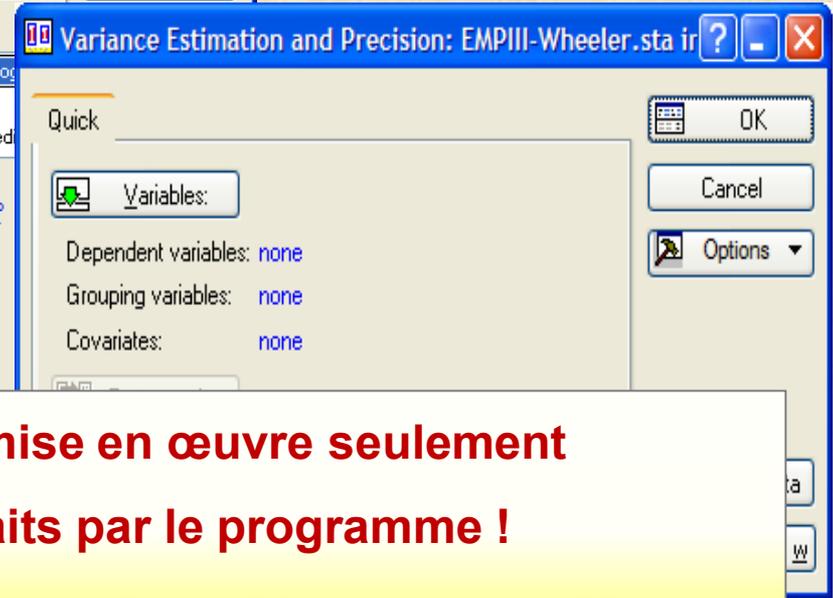
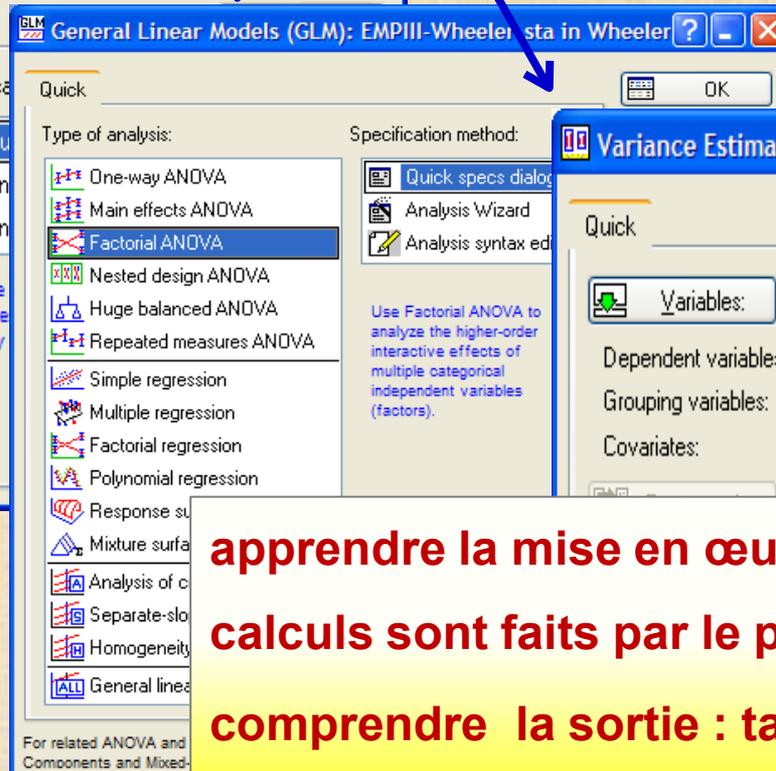
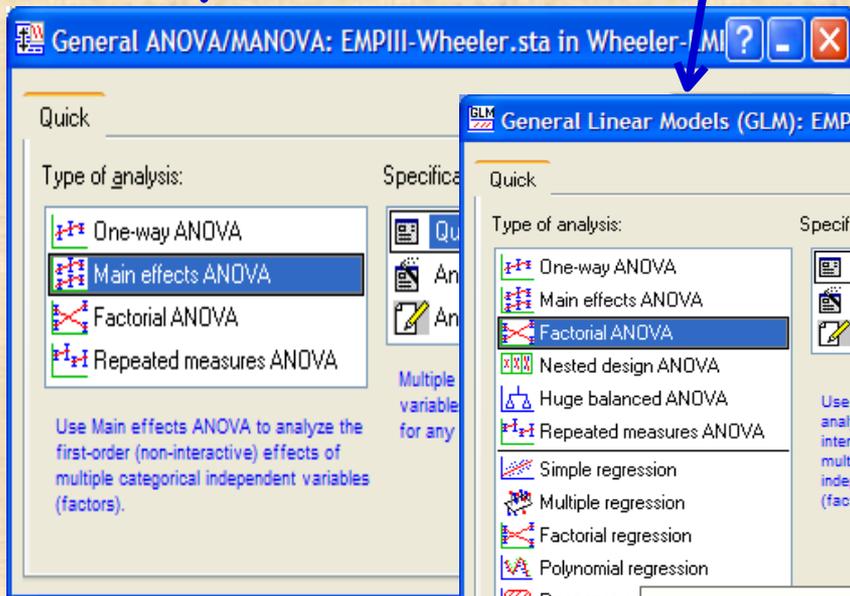
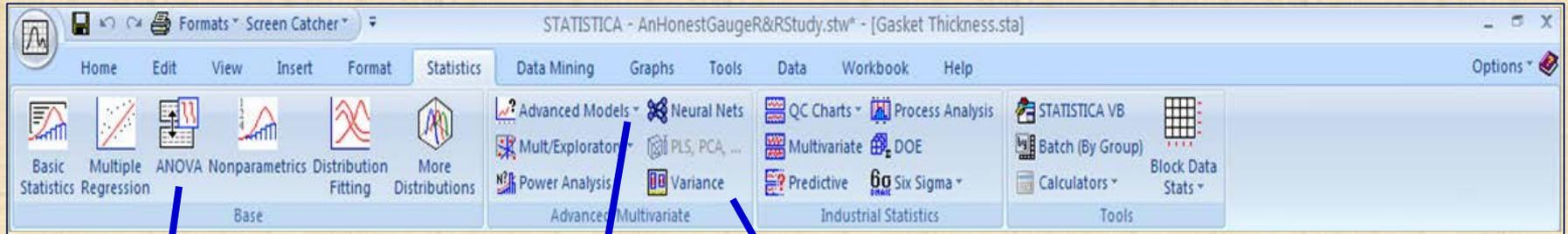
n: 2 ou 3

Important : les pièces doivent provenir d'un échantillonnage

reflétant la variabilité pièce à pièce (processus de fabrication)

OBJECTIF: estimation des écarts types σ_e σ_o σ_p + indices

Méthode ANOVA avec STATISTICA



**apprendre la mise en œuvre seulement
calculs sont faits par le programme !
comprendre la sortie : tableaux et graphiques**

Exemple 2 : 100 mesures d'un standard de référence / données obtenues par 2 techniciens

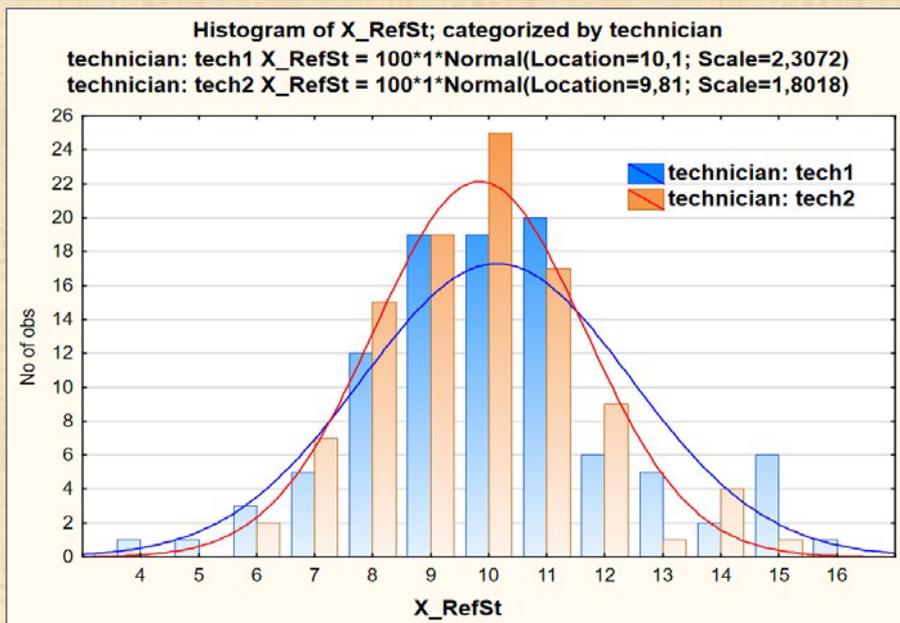
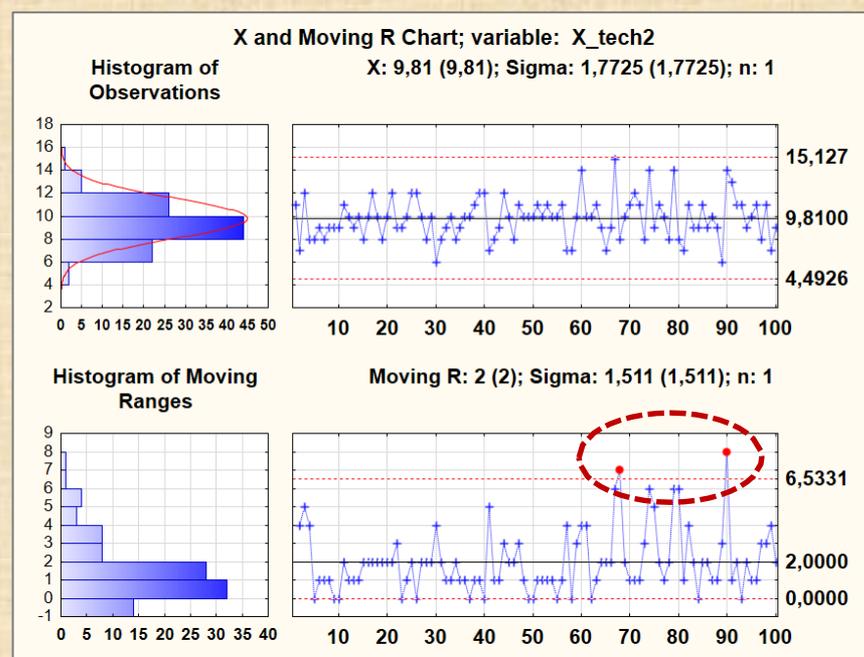
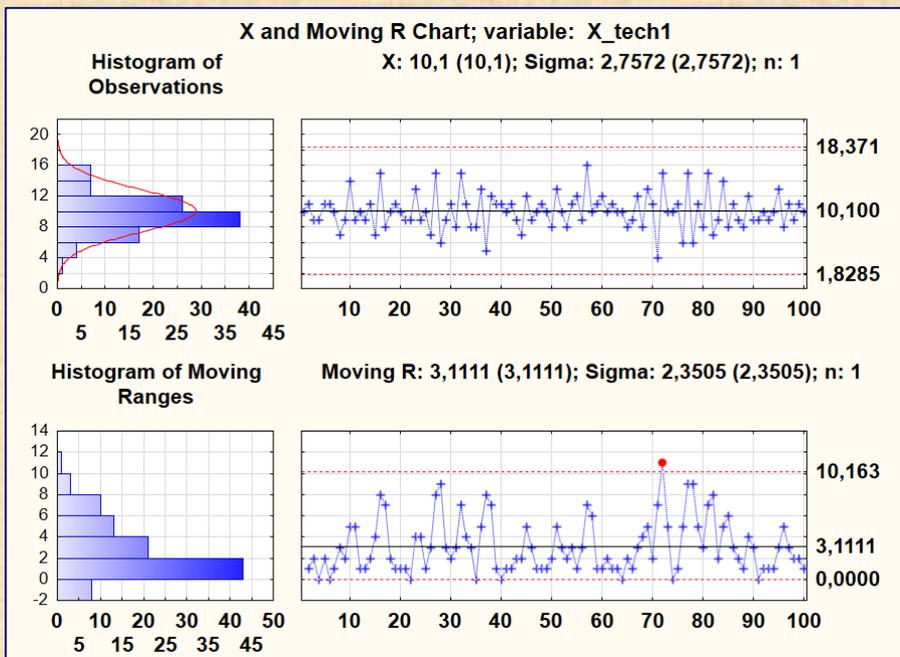
hour	X_tech1	X_tech2
1	10	11
2	11	7
3	9	12
4	9	8
5	11	8
6	11	9
7	10	8
8	7	9
9	9	9
10	14	9
11	9	11
12	10	10
13	9	9
14	11	10
15	7	8
16	15	10
17	8	12
18	10	10
19	11	8
20	10	10
21	9	12
22	9	9
23	13	9
24	9	10
25	10	12
26	7	12
27	15	10
28	6	8
29	9	10
30	11	6
31	8	8
32	15	9
33	11	10
34	8	8
35	8	9

hour	X_tech1	X_tech2
36	13	10
37	5	10
38	12	11
39	11	12
40	11	12
41	10	7
42	11	8
43	9	9
44	7	12
45	12	10
46	9	8
47	10	11
48	11	10
49	10	10
50	8	10
51	13	11
52	10	10
53	8	11
54	11	10
55	12	10
56	9	11
57	16	7
58	10	7
59	11	10
60	12	14
61	10	10
62	11	10
63	10	11
64	10	9
65	8	7
66	9	9
67	12	15
68	8	8
69	13	10
70	11	11

hour	X_tech1	X_tech2
71	4	12
72	15	11
73	10	8
74	10	14
75	11	9
76	6	11
77	15	10
78	6	8
79	11	14
80	8	8
81	15	7
82	7	11
83	9	9
84	14	9
85	8	11
86	11	9
87	9	10
88	8	9
89	12	6
90	9	14
91	9	13
92	10	11
93	9	11
94	10	9
95	13	10
96	8	11
97	11	8
98	9	11
99	11	7
100	10	9

**quel
technicien
fait le
meilleur
travail ?**

Exemple 2 : 100 mesures d'un standard de référence / données obtenues par 2 techniciens



technicien	carte mR	sigma
tech1	en contrôle	2,76
tech2	hors contrôle	1,77

quel technicien fait le meilleur travail?

COHÉRENCE AVEC UN TEST DESTRUCTIF

- Si le test est destructif, **la seule façon** de caractériser la cohérence du processus de mesure est d'utiliser des paires d'échantillons les plus semblables possibles. **Cela requiert du jugement ...**
- Les mesures seront traitées comme des mesures dupliquées (test – retest).
- **La carte des étendues R ou mR est employée pour estimer l'erreur de mesure.**
- Toute valeur qui dépasse la limite de contrôle supérieure UCL doit être enlevée du calcul de la moyenne des étendues.
- **Il faut refaire l'opération précédente jusqu'à ce qu'il n'y ait aucun point qui excède la limite supérieure UCL.**
- Les étendues capturent aussi la variabilité pièce à pièce.
- **L'estimation de l'erreur de mesure sera une bonne supérieure. Cela est usuellement suffisant.**

- Si la pièce (échantillon) est brisée en morceaux
- Si on fait, des déterminations multiples sur chaque échantillon
alors on utilise l'étendue de ces données pour les placer sur une carte

Si le test est destructif, les évaluateurs doivent utiliser des pièces distinctes.

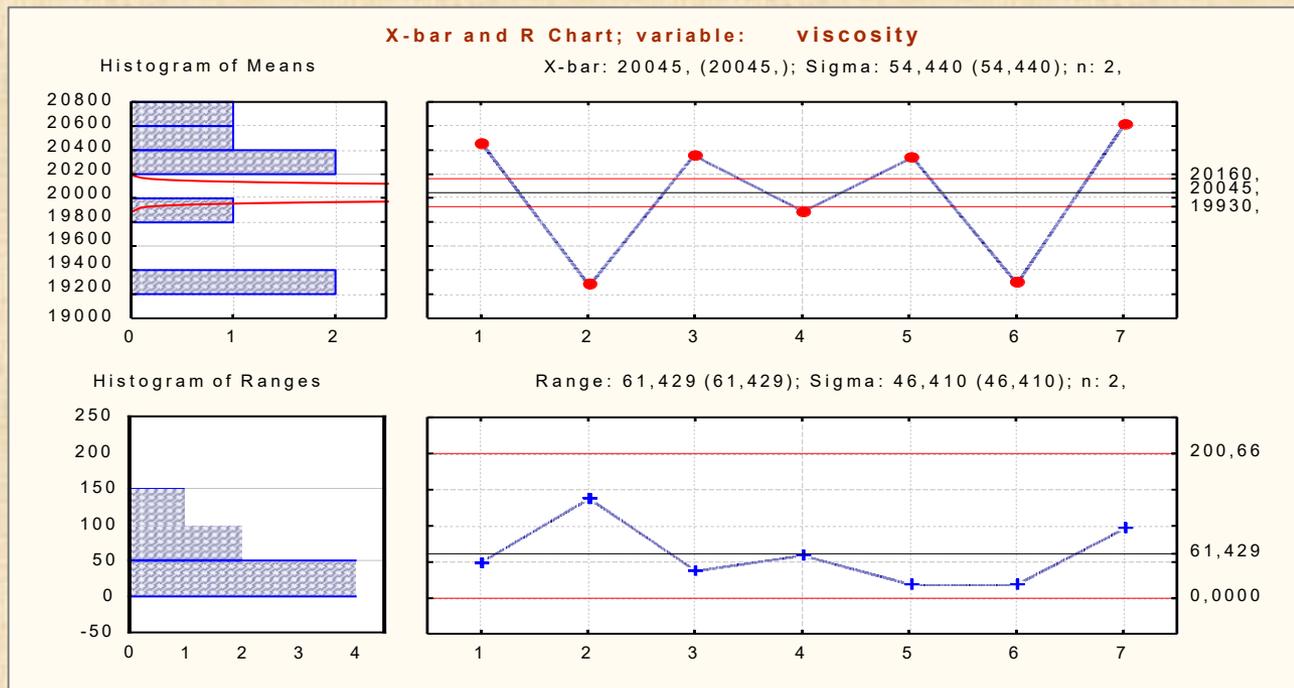
Analyse EMP5 : modèle avec facteurs emboîtés - P(produit) emboîté dans O(opérateur)

Erreur de mesure (précision): comment caractériser? - quel chiffre?

Exemple 3: mesures viscosité produit 10F

lot	rep	Viscosity centistoke	R
32	1	20480	
32	2	20430	50
33	1	19370	
33	2	19230	140
34	1	20350	
34	2	20390	40
35	1	19870	
35	2	19930	60
36	1	20360	
36	2	20340	20
37	1	19320	
37	2	19300	20
38	1	20580	
38	2	20680	100

R représente
l'erreur de mesure
non pas la
variation
produit à produit



carte R en état de contrôle: OK pour la suite des calculs

σ_e : notation pour représenter l'erreur de mesure

estimation $\hat{\sigma}_e = Rbar / (d_2 \sqrt{2}) = 61,4 / (1,128 \sqrt{2}) = 38,5$ cts avec 6,4 df

df = ?? Tout estimateur de dispersion est caractérisé par la quantité df
df = degrees of freedom

df = degrés de liberté = quantité d'information contenu dans l'estimateur
dépend de la quantité des données disponibles + formule employée
ici k = 7 groupes de n = 2 obs. voir Table A.10 EMPIII p. 267

$\sqrt{2}$?? 2 = nombre de données répliquées pour mesurer la viscosité d'un lot

Erreur de mesure (précision): comment caractériser? - quel chiffre?

Pré requis pour avoir un **bon** système de mesure: **établir et maintenir** l'homogénéité (constance) du système

Insuffisant pour **garantir** un **bon** système de mesure.

Nécessaire quantifier l'incertitude (précision) du système de mesure.

Précision – répétitivité (répabilité) – erreur de mesure – erreur de répétition
– erreur test/retest

peut-on reproduire la même valeur en **répétant** dans des conditions identiques?
(même personne/mécanisme, même objet, même appareil, court laps de temps)

Précision du système de mesure (appareil) = écart type des mesures répétées
(recommandation de ISO et organismes nationaux (NIST au USA))

Méthode: employer les mêmes données qui ont servi à établir la constance du système

Exemple 3: erreur de mesure de la viscosité $\hat{\sigma}_e = 38,5$ (p. 22 produit 10F)

remarque: on estime **l'erreur de mesure** non pas la **variation produit à produit** σ_p qui serait estimée en calculant l'écart type basée avec les données des 7 lots (moyennes des 2 mesures) et fera aussi intervenir la valeur de σ_e la méthode sera illustrée avec plusieurs exemples .

Exemple 4: données de NB10 (exemple 1, p. 16)

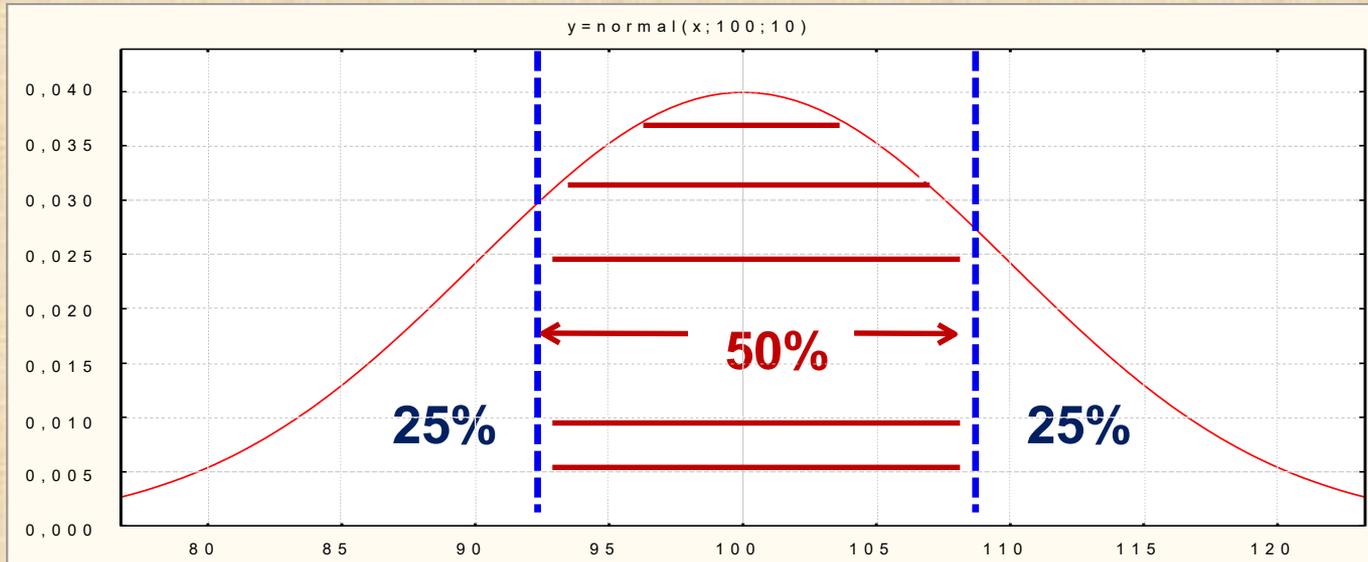
$$\hat{\sigma}_e = R_{\text{bar}} / (d_2 \sqrt{1}) = 3,93 / (1.238 \sqrt{1}) = 3,5$$

calcul de l'écart type (s) des 30 observations donne $s = \hat{\sigma}_e = 3,15$

Erreur de mesure (précision): comment caractériser? - quel chiffre?
Description de la précision avec l'erreur probable

alternative pour quantifier la précision

Erreur Probable = EP = $0,6745 \hat{\sigma}_e$



50 % des mesures répétées: $\bar{X} \pm 0,6745 \hat{\sigma}_e$

résultat: aucune mesure doit être interprétée
comme étant plus précise que $\pm PE$

GUIDE: combien de décimales retenir?

$0,2 EP < \text{incrément mesure} < 2 EP$

$0,5 \text{ incrément mesure} < EP < 5 \text{ incrément mesure}$

Description de la précision avec l'erreur probable

GUIDE: combien de décimales retenir?

$$0,2 \text{ EP} < \text{incrément mesure} < 2 \text{ EP}$$

$$0,5 \text{ incrément mesure} < \text{EP} < 5 \text{ incrément mesure}$$

Exemple 5: données de viscosité (p. 22) $\widehat{\sigma}_e = 38,5$

$$\text{EP} = 0,675 * 38,5 = 26 \quad \text{erreur probable}$$
$$\text{incrément des mesures} = 10 \quad \text{centistokes}$$

$$\text{EP} = 26 < 50 = 5 * 10$$

l'enregistrement de 10 centistokes est OK

Exemple 6: données de NB10 (exemple 1, p. 16)

$$\widehat{\sigma}_e = \text{Rbar} / (d_2 \sqrt{1}) = 3,93 / (1.238 \sqrt{1}) = 3,5$$

$$\text{EP} = 0,6745 * 3,5 = 2,4 \quad \text{erreur probable}$$
$$\text{incrément des mesures} = 1 \quad \text{micro gramme}$$

$$\text{EP} = 2,4 < 5$$

l'enregistrement de 1 micro gramme est OK

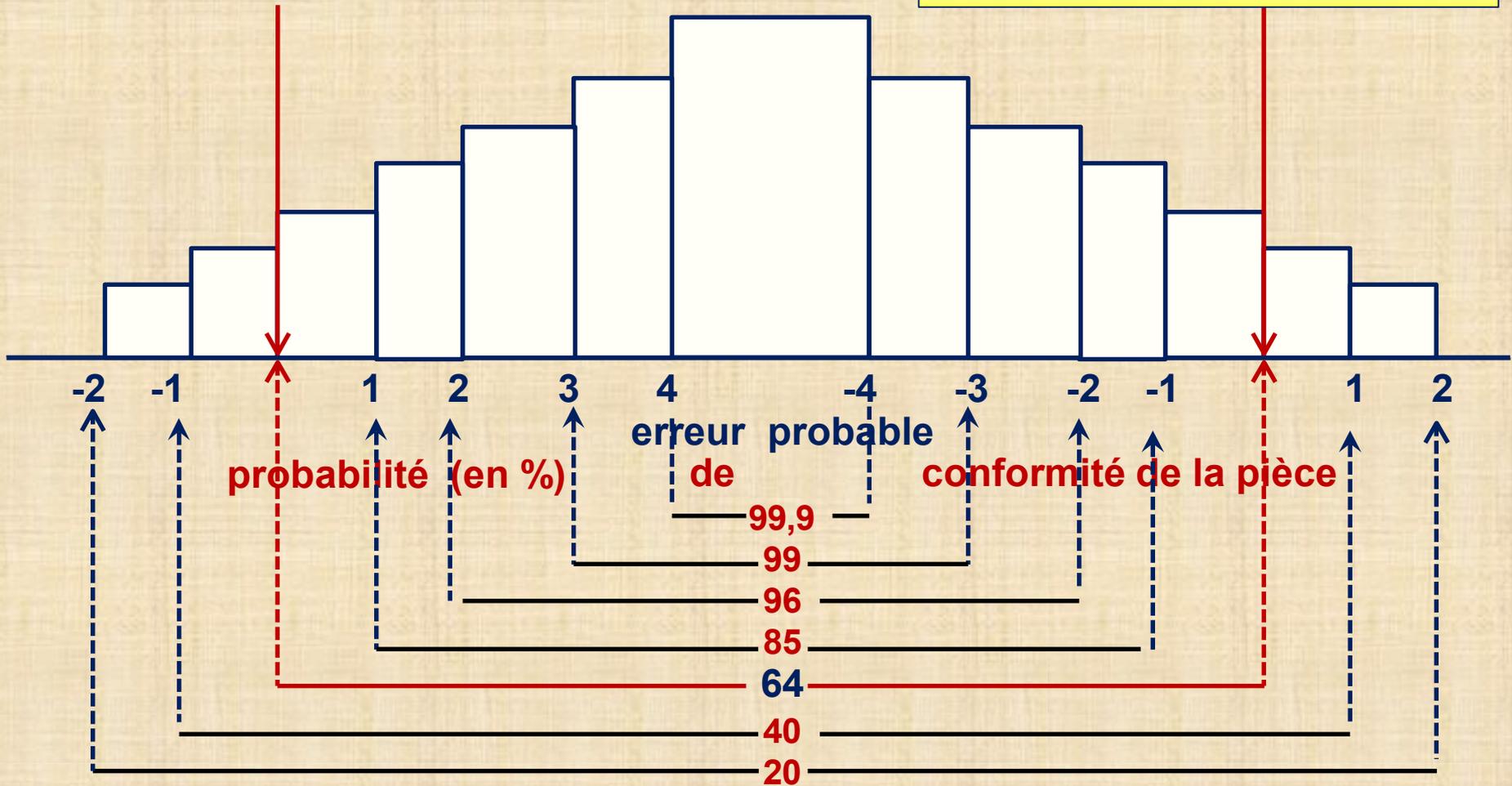
Description de la précision avec l'erreur probable

An Honest Gauge
R&R Study (2009)
D. J. Wheeler p. 16

Une application de l'erreur probable EP :
spécifications manufacturières

$$\text{LWSL} = \text{LSL} - 0,5 \cdot \text{incrément}$$

$$\text{UWSL} = \text{USL} + 0,5 \cdot \text{incrément}$$



BIAIS - JUSTESSE - ERREUR SYSTÉMATIQUE

BIAIS est lié à la moyenne de E dans l'équation $M = P + E$

BIAIS = 0 si moyenne de E = 0

L'évaluation du biais ne peut jamais se faire de manière absolue car on ne connaît et on ne connaîtra jamais la 'vraie' valeur. On peut seulement calculer un biais relatif.

biais relatif = écart par rapport à une valeur de référence

On peut faire une évaluation d'un biais relatif avec une pièce de référence qui fut mesurée avec une méthode supérieure de mesure ('master').

Évaluation du biais relatif

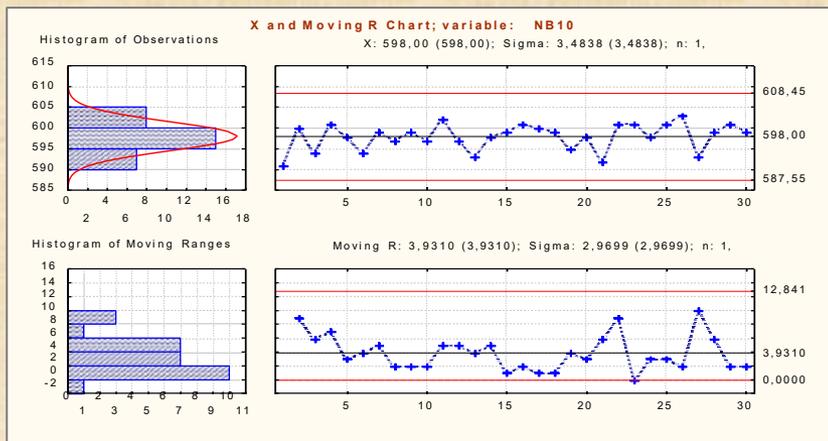
On mesure 20 à 30 fois la pièce de référence avec l'appareil de mesure. On place ces mesures sur une carte XmR. $LC = Xbar$

$$BAIS = Xbar - \text{valeur de référence}$$

On calcule un intervalle de confiance (à 90%) pour la vraie moyenne (μ)

$$\text{Intervalle confiance (IntConf)} \mu : Xbar \pm t_{0,05} (s/\sqrt{n}) \quad t_{0,05} = 90^{\text{ième}} \text{ percentile loi Student}$$

Exemple 7: données NB10 NB10 = xxx de 9,999 xxx pièce réf = 10,000 000



$$BAIS = 9,999\ 958 - 10,000 = 0,000\ 402$$

$$\text{IntConf} (\mu) : 598 \pm 1,699 (3,15\sqrt{30}) : 597 \text{ à } 599$$

$$0,000\ 402 < BIAIS < 0,000\ 403$$

BIAIS - JUSTESSE - ERREUR SYSTÉMATIQUE

Exemple 8: 30 déterminations d'un standard de référence égal à 13,500

13,383

13,383

13,354

13,429

13,404

13,431

13,404

13,431

13,453

13,429

13,305

13,506

13,481

13,508

13,530

13,506

13,506

13,530

13,280

13,582

13,332

13,605

13,580

13,580

13,659

13,362

13,682

13,655

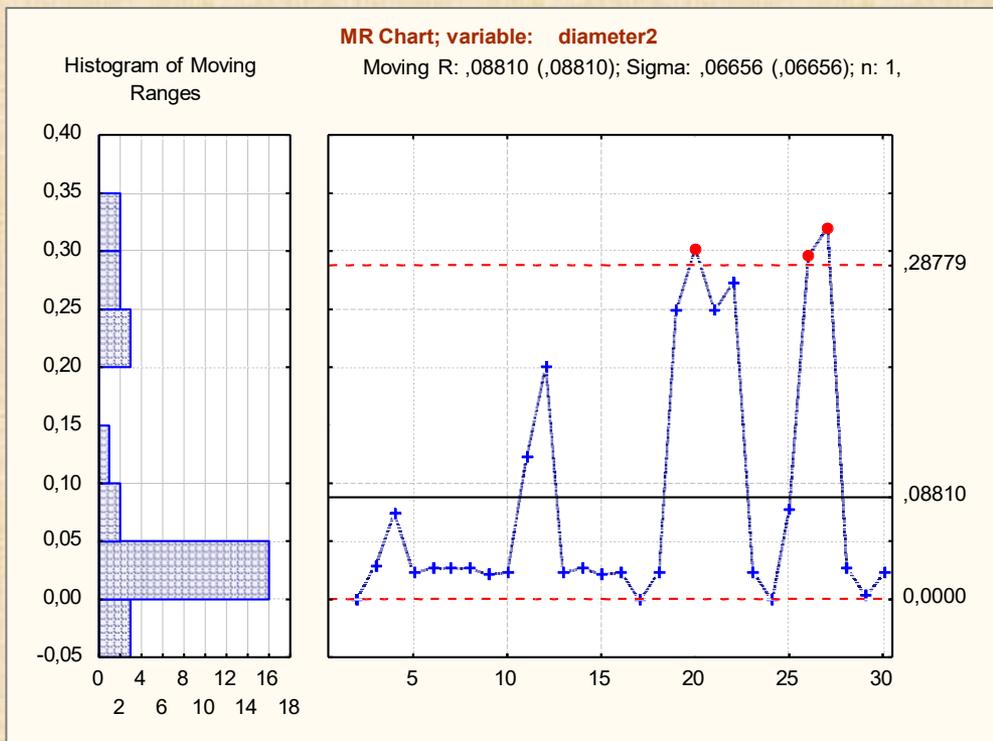
13,659

13,634

moyenne = \bar{X} = 13,4951 écart type = s = 0,1143
 IntConf (90%) : $13,4951 \pm 1,699 \cdot (0,1143/\sqrt{30})$: 13,4596 à 13,5306
 pas de BIAIS détectable car intervalle contient la valeur 13,500

Cette analyse est-elle valable?

Examen de la carte de contrôle des étendues mobiles mR.



Les mesures ne sont pas homogènes.

DONC

l'analyse du BIAIS

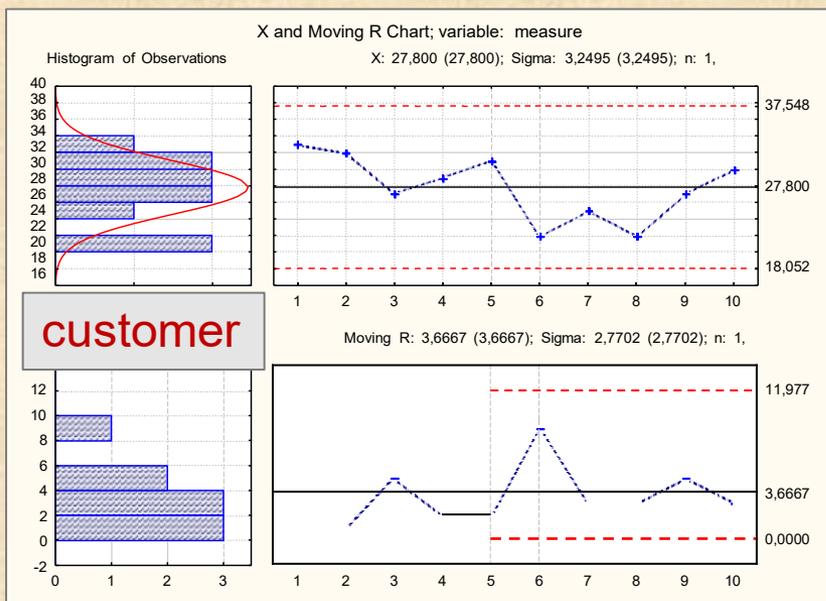
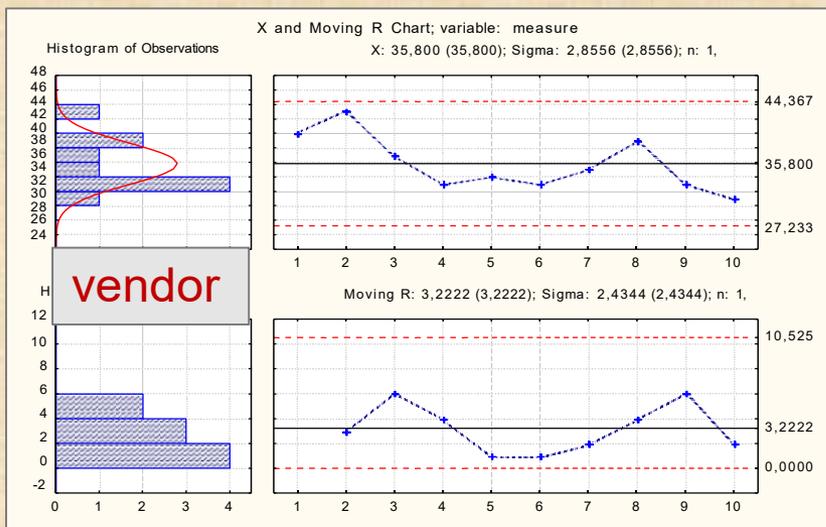
faite plus haut

n'a aucune valeur.

BIAIS - JUSTESSE - ERREUR SYSTÉMATIQUE

Exemple 9: grand échantillon divisé en 20 unités - mesures de 10 unités par 2 sources

	source	mesur
1	vendor	40
2	vendor	43
3	vendor	37
4	vendor	33
5	vendor	34
6	vendor	33
7	vendor	35
8	vendor	39
9	vendor	33
10	vendor	31
11	Custom	33
12	Custom	32
13	Custom	27
14	Custom	29
15	Custom	31
16	Custom	22
17	custom	25
18	custom	22
19	custom	27
20	custom	30



cartes XmR : données sont homogènes

analyse écart entre 2 sources

source	moyenne	écart type (s)
vendor	35,8	3,82
customer	27,8	3,91

estimation pondérée de l'écart type
 $s_p = 3,87$

IntConf (99%) différence moyennes (= biais)

$$(38,8 - 27,8) \pm \Delta$$

$$\Delta = 2,879 * [3,86 / (\sqrt{1/10} + \sqrt{1/10})] = 5,0$$

$$8,0 \pm 5,0 : 3,0 \text{ à } 13,0$$

biais détectable entre 2 sources

CONCLUSIONS jusqu'à maintenant)

- **PRIORITAIREMENT** : les mesures sont-elles homogènes?
**si elles ne sont pas
tout calcul aussi sophistiqué soit-il
basé sur ces données ne fait pas de
sens !**
- **DEUXIÈMENT** : calculer la précision (ou l'erreur probable)
- **TROISIÈMENT**
 - ✓ calculer le biais c'est sympathique mais ... optionnel on peut très bien faire des affaires sans le connaître
 - ✓ mettre en place un programme systématique de calibrage des appareils
 - ✓ le seul biais qui existe est le *biais relatif*:
= écart par rapport à une valeur de référence

UTILITÉ RELATIVE D'UN SYSTÈME DE MESURE mesuré avec coefficient de corrélation intra classe

Évaluation de base

p pièces même produit

1 évaluateur (opérateur)

n mesures répétées chaque pièce

variabilité mesures = variabilité produit + variabilité répétitions

$$\sigma_m^2 = \sigma_p^2 + \sigma_e^2$$

variance totale = variance variance
des mesures du produit du système
du produit de mesure

indicateur pour mesurer l'utilité du système de mesure

coefficient de corrélation intra classe ρ

$\rho = \sigma_p^2 / \sigma_m^2$ proportion variance totale
attribuable au produit

avec des données $\hat{\rho} = r = \hat{\sigma}_p^2 / \hat{\sigma}_m^2 = 1 - (\hat{\sigma}_e^2 / \hat{\sigma}_m^2)$

calcul : dépend de la structure des données

UTILITÉ RELATIVE D'UN SYSTÈME DE MESURE

critère de classification des appareils

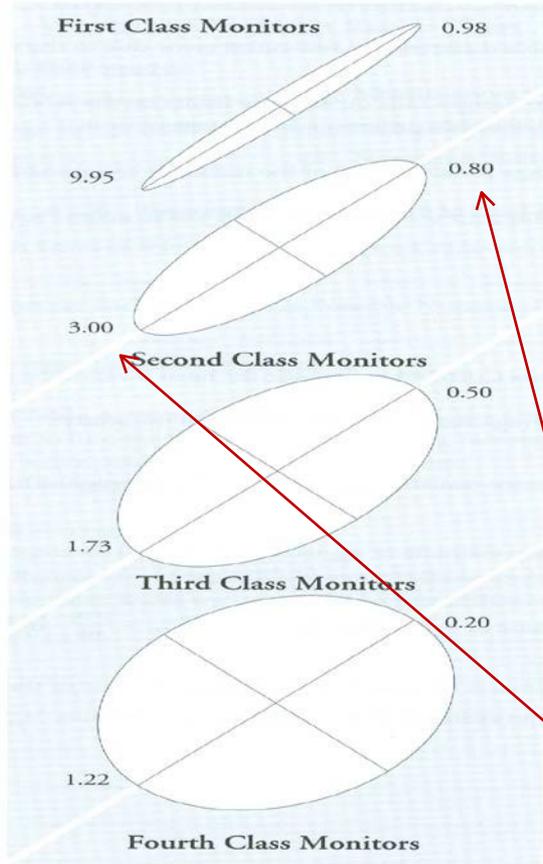


Figure 6.18: Discrimination Ratios, Intraclass Correlation Plots, Intraclass Correlation Coefficient and the Four Classes of Process Monitors

EMPIII Using Imperfect Data p. 90

Intraclass Correlation	Attenuation of Process Signals	Chance of Detecting a 3 Std. Error Shift	Ability to Track Process Improvements
1.00			
0.80	Less than 10 Percent	More than 99% with Rule One	Up to C_{p80}
0.50	From 10 % to 30 %	More than 88% with Rule One	Up to C_{p50}
0.20	From 30% to 55%	More than 91% w/ Rules 1, 2, 3, 4	Up to C_{p20}
0.00	More than 55 Percent	Rapidly Vanishes	Unable to Track

$$C_{p80} = \frac{USL - LSL}{6 \sigma_{pe}} \sqrt{1 - .80}$$

$$C_{p50} = \frac{USL - LSL}{6 \sigma_{pe}} \sqrt{1 - .50}$$

$$C_{p20} = \frac{USL - LSL}{6 \sigma_{pe}} \sqrt{1 - .20}$$

Donald J. Wheeler (2009) An Honest Gauge R&R Study (2009) p. 15

ρ coefficient de corrélation intra classe ρ

D_R rapport de discrimination

$$D_R = [(1 + \rho) / (1 - \rho)]^{0,5} = [(2 \sigma_m^2 / \sigma_e^2) - 1]^{0,5}$$

= pouvoir discriminant de l'appareil

= nombre de classes (piles) distinctes de pièces

CARACTÉRISATION D'UN PROCESSUS MESURE

Exemple 10:

mesures viscosité
produit 10F

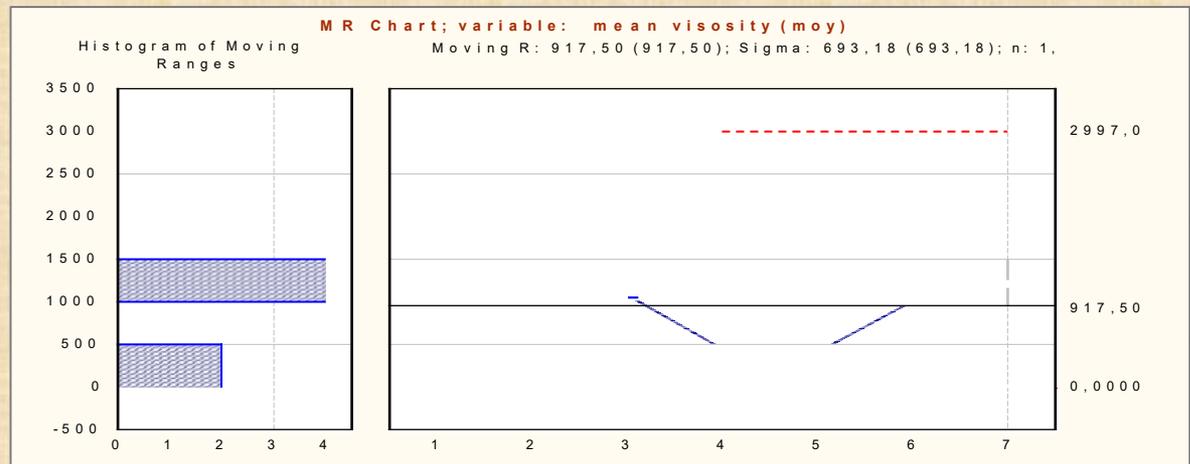
données de viscosité (p. 25) $\hat{\sigma}_e = 38,5$

lot	rep	Viscosity centistoke	R	moy
32	1	20480		
32	2	20430	50	20455
33	1	19370		
33	2	19230	140	19300
34	1	20350		
34	2	20390	40	20370
35	1	19870		
35	2	19930	60	19900
36	1	20360		
36	2	20340	20	20350
37	1	19320		
37	2	19300	20	19310
38	1	20580		
38	2	20680	100	20630

Estimation de σ_m

méthode : carte XmR avec les moyennes (moy)

$$\hat{\sigma}_m = \overline{mR} / d_2 = \overline{mR} / 1,128$$



$$\hat{\sigma}_m = 917,5 / 1.128 = 813,4$$

$$r = 1 - (38,5 / 813,4)^2 = 0,998$$

$$D_R = [(1 + 0,998) / (1 - 0,998)]^{0,5} = 31,6$$

appareil de première classe

CARACTÉRISATION D'UN PROCESSUS MESURE

Exemple 10: mesures viscosité produit 10F

	lot	viscosity	visco1	visco2
1	32	20480	20480	20430
2	32	20430	20430	20480
3	33	19370	19370	19230
4	33	19230	19230	19370
5	34	20350	20350	20390
6	34	20390	20390	20350
7	35	19870	19870	19930
8	35	19930	19930	19870
9	36	20360	20360	20340
10	36	20340	20340	20360
11	37	19320	19320	19300
12	37	19300	19300	19320
13	38	20580	20580	20680
14	38	20680	20680	20580

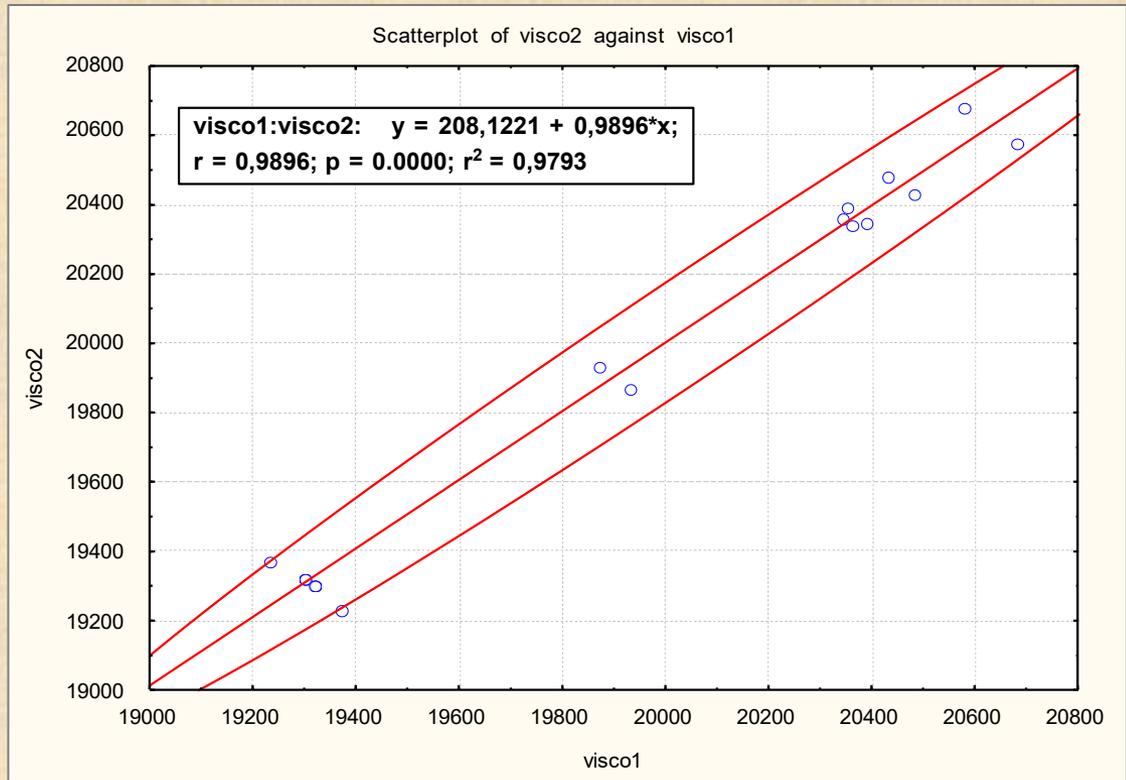


diagramme de dispersion conjointe ('scattergram') obtenu en dédoublement les paires de mesures répétées:
 (visco1, visco2) (visco2, visco1)

**coefficient de corrélation r = coefficient corrélation
 intra classe**

SOURCES DE VARIABILITÉ DANS LES PROCESSUS DE MESURE

variabilité répétition (test-retest) = erreur pure	: σ_{ep}^2
variabilité pièce	: σ_p^2
variabilité opérateur	: σ_o^2
variabilité instrument	: σ_d^2
variabilité totale (mesure).....	: σ_m^2

<u>Variance</u>	<u>mesure</u>	<u>=</u>	<u>pièce</u>	<u>+</u>	<u>erreur</u>
1 opérateur 1 instrument	σ_m^2	=	σ_p^2	+	σ_{ep}^2
o opérateurs 1 instrument	σ_m^2	=	σ_p^2	+	$\sigma_o^2 + \sigma_{ep}^2$
d instruments 1 opérateur	σ_m^2	=	σ_p^2	+	$\sigma_d^2 + \sigma_{ep}^2$
o opérateurs d instruments	σ_m^2	=	σ_p^2	+	$\sigma_o^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{ep}^2$

notation σ_{ep} erreur pure appareil calcul direct avec répétitions
 σ_e erreur appareil calcul par ANOVA avec STATISTICA

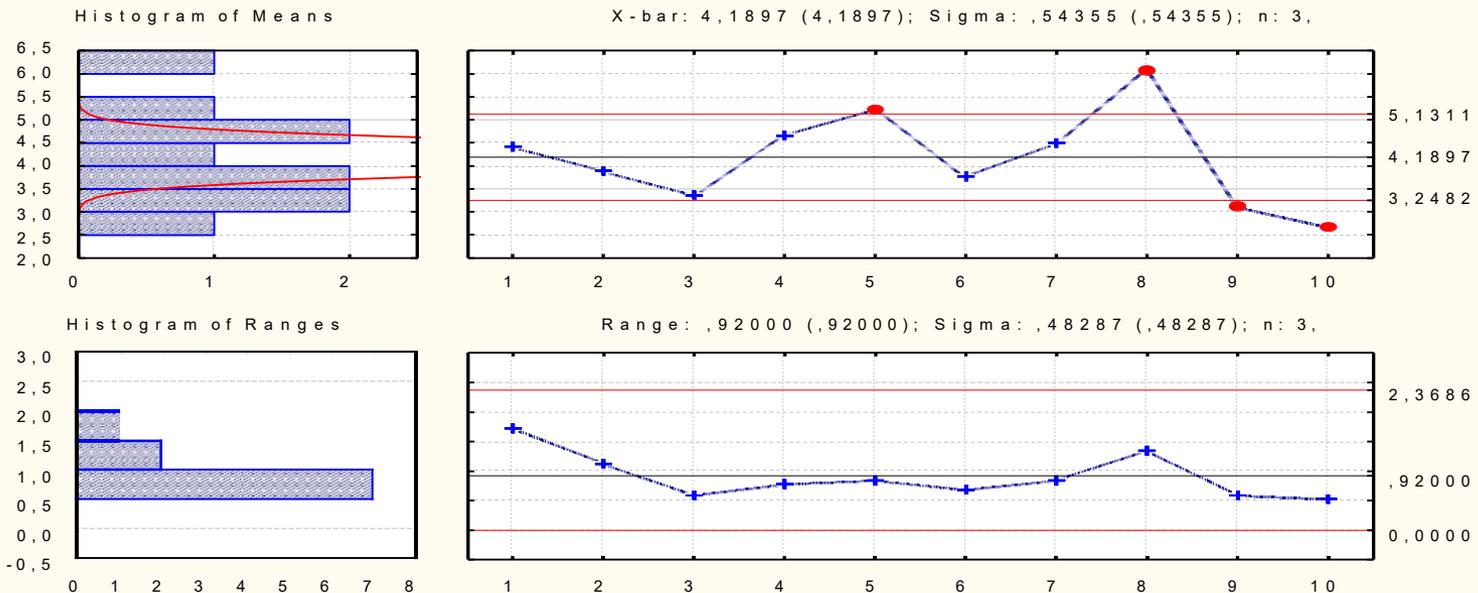
remarque légères différences numériques entre σ_{ep} et σ_e

CARACTÉRISATION D'UN PROCESSUS MESURE

Exemple 11: jauge 702 produit 833 - 10 pièces avec 3 lectures

pièce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MOY	VAR
lect 1	3,66	4,50	3,63	4,28	5,66	3,36	4,20	6,95	3,41	2,43		
lect 2	4,26	3,85	3,03	5,08	4,81	3,91	4,35	5,60	2,81	2,98		
lect 3	5,41	3,35	3,53	4,63	5,31	4,06	5,05	5,70	3,21	2,68		
moy	4,44	3,90	3,40	4,66	5,26	3,78	4,53	6,08	3,14	2,70	4,19	1,04
R	1,75	1,15	0,60	0,80	0,85	0,70	0,85	1,35	0,60	0,55	0,92	

X-bar and R Chart; variable: jauge702



La jauge 702 peut-elle détecter la variabilité pièce à pièce?

CARACTÉRISATION D'UN PROCESSUS MESURE

Exemple 11: jauge 702 produit 833 - 10 pièces avec 3 lectures

erreur pure $\widehat{\sigma}_{ep}^2 = [\bar{R} / d_2]^2 = [0,92 / 1,693]^2 = 0,295$

var (moy lect.) $\sigma_{moy}^2 = \sigma_p^2 + (1/n) \sigma_{ep}^2$
 $\widehat{\sigma}_p^2 = \widehat{\sigma}_{moy}^2 - (1/n) \widehat{\sigma}_{pe}^2$
 $= 1,038 - (1/3) 0,295$
 $= 0,94$

corrélation intra classe $r_{ep} = 0,94 / (0,94 + 0,295) = 0,76$

La jauge 702 est un appareil de deuxième classe.

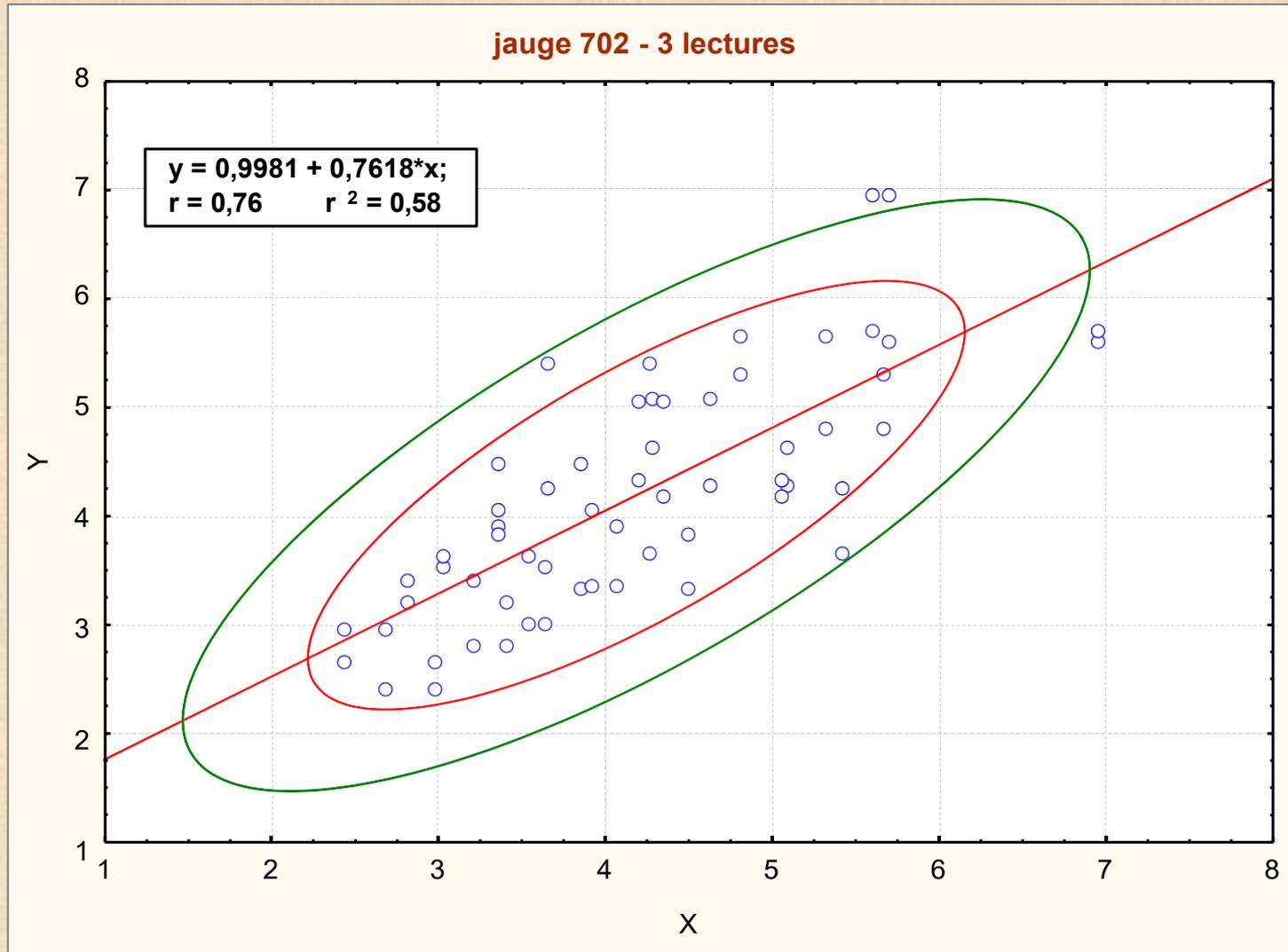
La valeur 0,76 est confirmée par le diagramme de dispersion conjointe présenté à la page suivante.

3 lectures donne 6 paires:

(lect 1, lect 2)	(lect 1, lect 3)	(lect 2, lect 3)
(lect 2, lect1)	(lect 3, lect 1)	(lect 3, lect 2)

CARACTÉRISATION D'UN PROCESSUS MESURE

Exemple 11: jauge 702 produit 833 - 10 pièces avec 3 lectures



Notation - définition - formules

k : nombre de sous groupes **n** : taille des sous groupes

Xbar : moyenne de chaque groupe = $\sum X / n$

Xbar2 : moyenne des moyennes Xbar = $\sum Xbar / k$

R : étendue de chaque groupe = $\max(X) - \min(X)$

Rbar : moyennes des étendues $R = \sum R / k$

d₂ : constante qui dépend de n (table)

σ_{ep} : erreur pure (basée sur les répétitions)

estimation $\hat{\sigma}_{ep} = Rbar / d_2$

s_{Xbar} : écart type des valeurs Xbar = $[(1/ (k-1)) \sum (Xbar - Xbar2)^2]^{0,5}$

σ_p : écart type variabilité pièce à pièce (produit)

estimation $\hat{\sigma}_p = [s^2_{Xbar} - (n_r/n) \hat{\sigma}_{ep}^2]^{0,5}$

n_r : nombre de lectures répétées d'une même pièce

r_{ep} : estimation coefficient corrélation intra classe = ρ

$$r_{ep} = \hat{\sigma}_{ep}^2 / (\hat{\sigma}_{ep}^2 + \hat{\sigma}_p^2)$$

peut être obtenue avec un scattergramme

CARACTÉRISATION D'UN PROCESSUS MESURE

Calculs avec l'analyse de la variance (ANOVA)

module Gage Repeatability & Reproducibility de *STATISTICA*

Variable: gauge109 Mean: 33,6667 Std.Dev.: 16,4345 N: 30
Operators (oper): 3 Parts (part): 5 Trials (rep): 2

Quick | Advanced | Descriptives/plots | Gage performance | Options

Range method variance estimate | ANOVA method variance estimate
Range method percent tolerance | ANOVA method percent tolerance
 Adjust appraiser variability (AIAG) | Complete ANOVA table
 No 2-way (Operator-Part) interaction
Proportion for confidence interval: .900

NOTE: Repeatability computed as defined by AIAG and ISO. Reproducibility is alternatively referred to (AIAG) as Appraiser (Operator) Variation or (ISO) as Combined R&R.

Méthode de
calcul
différente
des cartes
SPC
p.42

commentaires plus loin dans les notes
sur les calculs proposés par AIAG

CARACTÉRISATION D'UN PROCESSUS MESURE

Exemple 12: comparaison de 2 appareils de mesure viscosité produit 20F 10 lots (batch): 42-43-51-52-59-61-64-76-79- 81
 méthode 1: U-Tube méthode 2 : Cone & Plate

Méthode Utube
 chaque lot est divisé en 2 unités

	batch	Utube
1	42	29980
2	42	29930
3	43	28970
4	43	28730
5	51	29850
6	51	30190
7	52	29670
8	52	29730
9	59	29360
10	59	29940
11	61	29320
12	61	29300
13	64	30480
14	64	30180
15	76	29400
16	76	29630
17	79	29270
18	79	28820
19	81	29810
20	81	29530

Méthode Cone&Plate

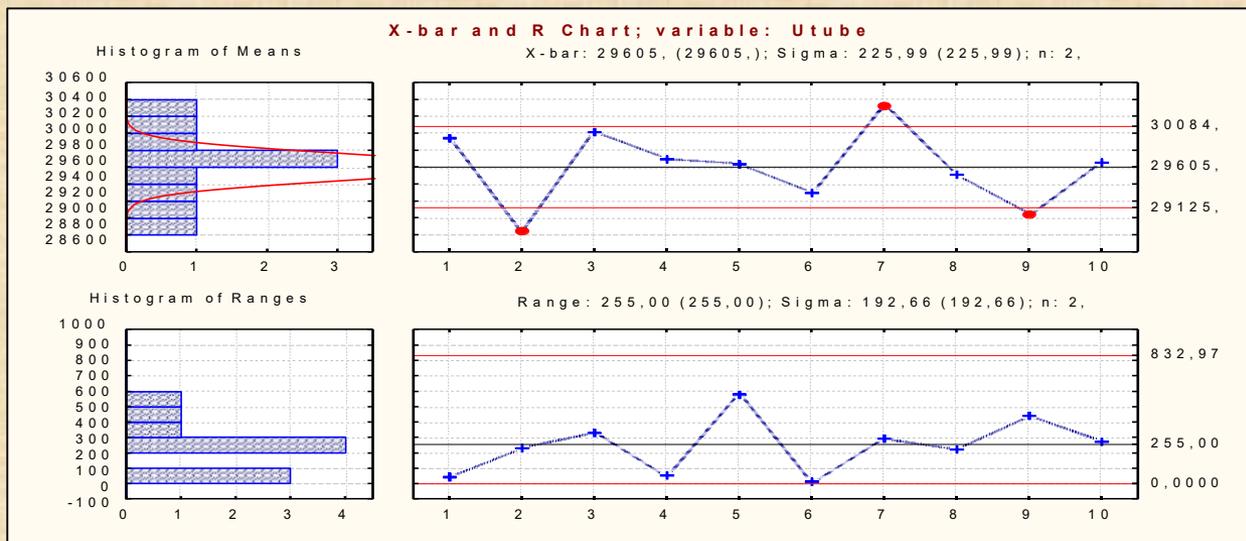
répétition (5 fois)
 mesure de la même unité

	batch	Cone&Plate
1	42	30400
2	42	30400
3	42	30500
4	42	30400
5	42	30400
6	43	29300
7	43	29200
8	43	29300
9	43	29200
10	43	29200
11	51	30300
12	51	30300
13	51	30300
14	51	30200
15	51	30200
16	52	29800
17	52	29900
18	52	29800
19	52	29700
20	52	29900
21	59	30300
22	59	30300
23	59	30200
24	59	30100
25	59	30100

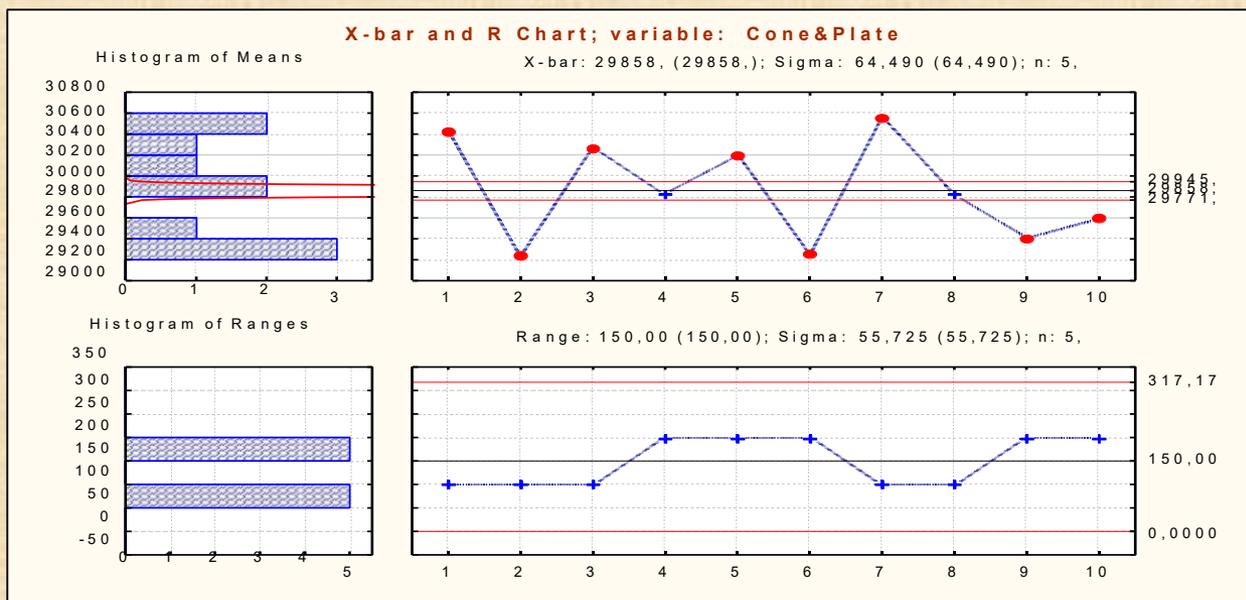
	batch	Cone&Plate
26	61	29300
27	61	29300
28	61	29300
29	61	29100
30	61	29300
31	64	30500
32	64	30600
33	64	30600
34	64	30500
35	64	30600
36	76	29900
37	76	29800
38	76	29800
39	76	29800
40	76	29800
41	79	29300
42	79	29400
43	79	29500
44	79	29400
45	79	29400
46	81	29700
47	81	29500
48	81	29600
49	81	29500
50	81	29700

CARACTÉRISATION D'UN PROCESSUS MESURE

Exemple 12: comparaison de 2 appareils de mesure viscosité



U-tube



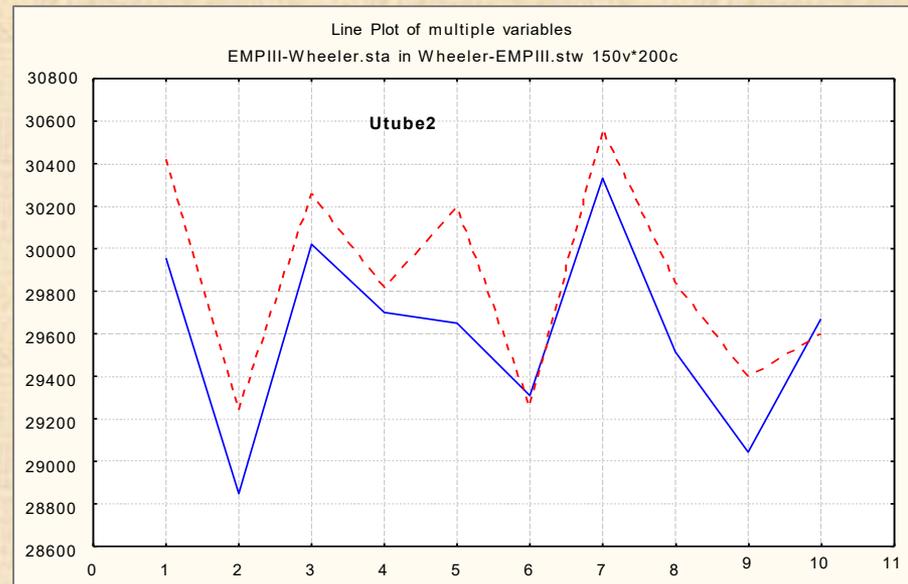
Cone & Plate

CARACTÉRISATION D'UN PROCESSUS MESURE

Exemple 12: comparaison de 2 appareils de mesure viscosité

appar.	Rbar	n	d ₂	σ _{ep}	S _{Xbar}	n _r	σ _p	r _{ep}	classe
U-Tube	255	2	1,128	226,1	449,0	2	419,6	0,87	1
Cone	150	5	2,326	64,5	483,6	5	482,7	0,99	1

batch	U-tube moy	Cone moy	Dif
42	29955	30420	465
43	28850	29240	390
51	30020	30260	240
52	29700	29820	120
59	29650	30200	550
61	29310	29260	-50
64	30330	30560	230
76	29515	29840	325
79	29045	29400	355
81	29670	29600	-70



Y a-t-il un biais relatif entre les 2 appareils?
Utilisation du test t apparié
IntConf (95%) pour les différences appariés

$$255,5 \pm 147,4 : 108,1 \text{ à } 402,9$$

Réponse : oui, un biais relatif de 255

Étude EPM 1 : ÉVALUATION UTILITÉ RELATIVE PROCESSUS MESURE

- S1.** Choisir **p** exemplaires d'un produit spécifique et on mesure chaque exemplaire **n** fois en utilisant le même instrument et le même opérateur.
- S2.** Placer les **np** mesures sur une carte Xbar&R avec **p groupes de taille n**. Des signaux sur la carte Xbar indique que le processus de mesure peut détecter des différences entre les exemplaires du produits Des points qui dépasse la limite de contrôle supérieure sur la carte R indique des problèmes avec e processus de mesure.

- S3.** Estimer l'erreur probable EP pour une mesure individuelle avec la formule

$$EP = 0,675 * (Rbar / d_2)$$

Si l'incrément de mesure est plus grand que $2 * PE$: il est nécessaire d'ajouter plus de décimales pour les mesures.

Si l'incrément de mesure est plus petit que $0,2 * PE$: on peut laisser tomber une décimale.

- S4.** L'estimation de l'erreur pure (répétitions): $\hat{\sigma}_{ep} = Rbar / (d_2 * \sqrt{n_r})$

- S5.** L'estimation de la variabilité du produit: $\hat{\sigma}_p = [s^2_{Xbar} - (n_r/n) \hat{\sigma}_{ep}^2]^{0,5}$

- S6.** L'estimation du coefficient de corrélation intra classe ρ

$$r_{ep} = \hat{\sigma}_{ep}^2 / (\hat{\sigma}_{ep}^2 + \hat{\sigma}_p^2)$$

- S7.** Classer l'appareil de mesure avec r_{ep} : classe 1-2-3-4 selon tableau p. 35

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Facteurs : Opérateur - Instrument - Site – Temps

SOURCES de VARIABILITÉ

variabilité répétition (test-retest) = erreur pure : σ_{ep}^2

variabilité pièce : σ_p^2

variabilité opérateur : σ_o^2

variabilité instrument : σ_d^2

variabilité totale (mesure)..... : σ_m^2

Variance	mesure	=	pièce	+	erreur
1 opérateur 1 instrument	σ_m^2	=	σ_p^2	+	σ_{ep}^2
o opérateurs 1 instrument	σ_m^2	=	σ_p^2	+	$\sigma_o^2 + \sigma_{ep}^2$
d instruments 1 opérateur	σ_m^2	=	σ_p^2	+	$\sigma_d^2 + \sigma_{ep}^2$
o opérateurs d instruments	σ_m^2	=	σ_p^2	+	$\sigma_o^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{ep}^2$

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE AVEC PRÉSENCE DE FACTEURS NUISIBLES

Exemple 13: jauge 109 – o = 3 opérateurs p = 5 pièces n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron)

Exemple 14: gasket thickness – o = 3 opérateurs p = 5 pièces n = 2 rép.
mesure = épaisseur (thick) (unité = mils)

Exemple 15: jauge 130 – o = 3 opérateurs p = 5 pièces n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron) - étude 1

Exemple 16: jauge 130 – o = 3 opérateurs p = 5 pièces n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron) - étude 2

Exemple 17: étude 33 – o = 3 opérateurs p = 6 pièces n = 2 répétitions
mesure = caractéristique sur tranche silicium (unité=micron)

Exemple 18: test compression – o = 2 opérateurs p = 5 pièces n = 3 rép.
mesure = caractéristique force compression (unité=pounds)

Exemple 19: test compression – o = 2 opérateurs p = 5 pièces n = 3 rép.
mesure = caractéristique force compression (unité=pounds)

Exemple 20 : manual test stand – o = 6 opérateurs p = 4 pièces n = 3 rép.
mesure = propriété électromagnétique

Exemple 21 : étude à la ronde (Round Robin) – o = 6 laboratoires
p = 6 produits distincts A B C D E F n = 3 répétitions par produit
mesure = silicat producing volatiles

Exemple 22: méthode test 623 – o = 4 opérateurs d = 2 instruments A et B
opérateur croisé avec instrument (plan croisé)
p = 3 pièces (lot) n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron)

Exemple 23: méthode test 623 – o = 8 opérateurs d = 3 sites plant A / B / C
opérateur emboîté dans site (plant) (plan emboîté)
op. 1-2-3 dans site A / op. 4-5 dans site B / op. 6-7-8 dans site C
p = 3 batch (b1, b2, b3) et n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron)

Exemple 24: méthode test 623 – o = 3 opérateurs
p = 5 pièces n = 2 répétitions
mesure = épaisseur joint d'étanchéité

Exemple 25: étude R&R avec test destructif
o = 3 opérateurs p = 30 pièce regroupées en 15 paires semblables
n = 2 pseudo répétitions
mesure = réponse

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE PRÉSENCE DE FACTEURS NUISIBLES

Exemple 13: jauge 109

o = 3 opérateurs A B C

p = 5 pièces p1 p2 p3 p4 p5

n = 2 répétitions 1 2

Y = mesure dimension
(unité=micron)

15 groupes (oper X part)
n = 2 répétitions

Analyse

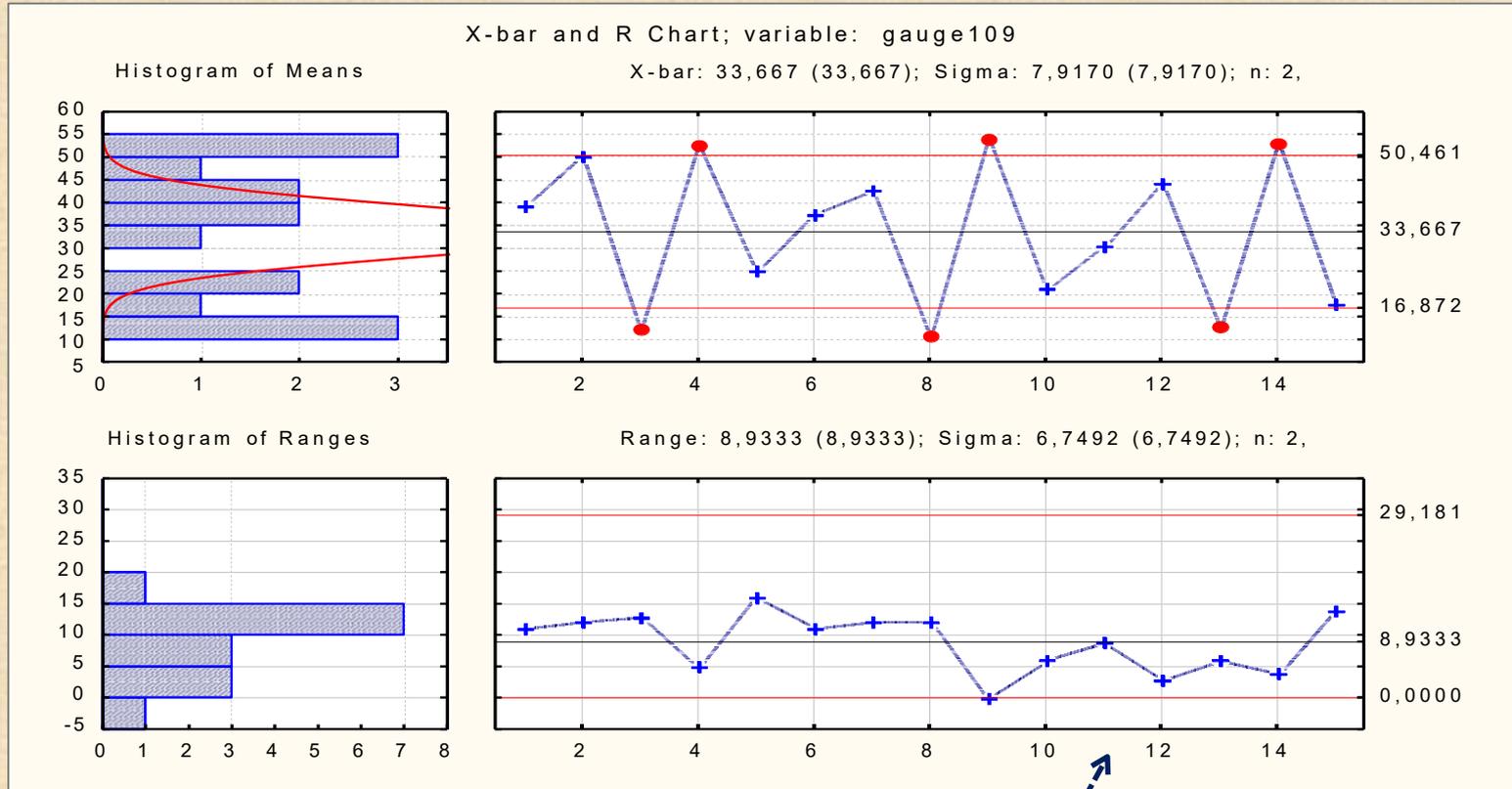
➤ carte SPC

➤ ANOVA

59 oper	60 part	61 group	62 rep	63 gauge109
A	p1	A_p1	1	34
A	p1	A_p1	2	45
A	p2	A_p2	1	56
A	p2	A_p2	2	44
A	p3	A_p3	1	6
A	p3	A_p3	2	19
A	p4	A_p4	1	50
A	p4	A_p4	2	55
A	p5	A_p5	1	33
A	p5	A_p5	2	17
B	p1	B_p1	1	43
B	p1	B_p1	2	32
B	p2	B_p2	1	49
B	p2	B_p2	2	37
B	p3	B_p3	1	17
B	p3	B_p3	2	5
B	p4	B_p4	1	54
B	p4	B_p4	2	54
B	p5	B_p5	1	24
B	p5	B_p5	2	18
C	p1	C_p1	1	35
C	p1	C_p1	2	26
C	p2	C_p2	1	46
C	p2	C_p2	2	43
C	p3	C_p3	1	10
C	p3	C_p3	2	16
C	p4	C_p4	1	51
C	p4	C_p4	2	55
C	p5	C_p5	1	25
C	p5	C_p5	2	11

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE PRÉSENCE DE FACTEURS NUISIBLES

Exemple 13: jauge 109
o = 3 opérateurs A B C
p = 5 pièces p1 p2 p3 p4 p5
n = 2 répétitions 1 2
Y = mesure dimension



- Q1: parallélisme entre les opérateurs?**
- Q2: répétitivité test-retest? ... OK** si la carte R est en contrôle
- Q3: différences entre les opérateurs?**



ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Q1: parallélisme entre les opérateurs?

Rep Q1: jugement subjectif, peut-être difficile à faire

Q2: répétitivité test-retest?

carte R en état de contrôle?

si **Rep Q2** = oui, alors bonne répétitivité

Q3: différences réelle entre les opérateurs?

Rep Q3: difficile à établir de manière subjective

méthode objective: ANOVA (**AN**alysis **O**f **VA**riance)

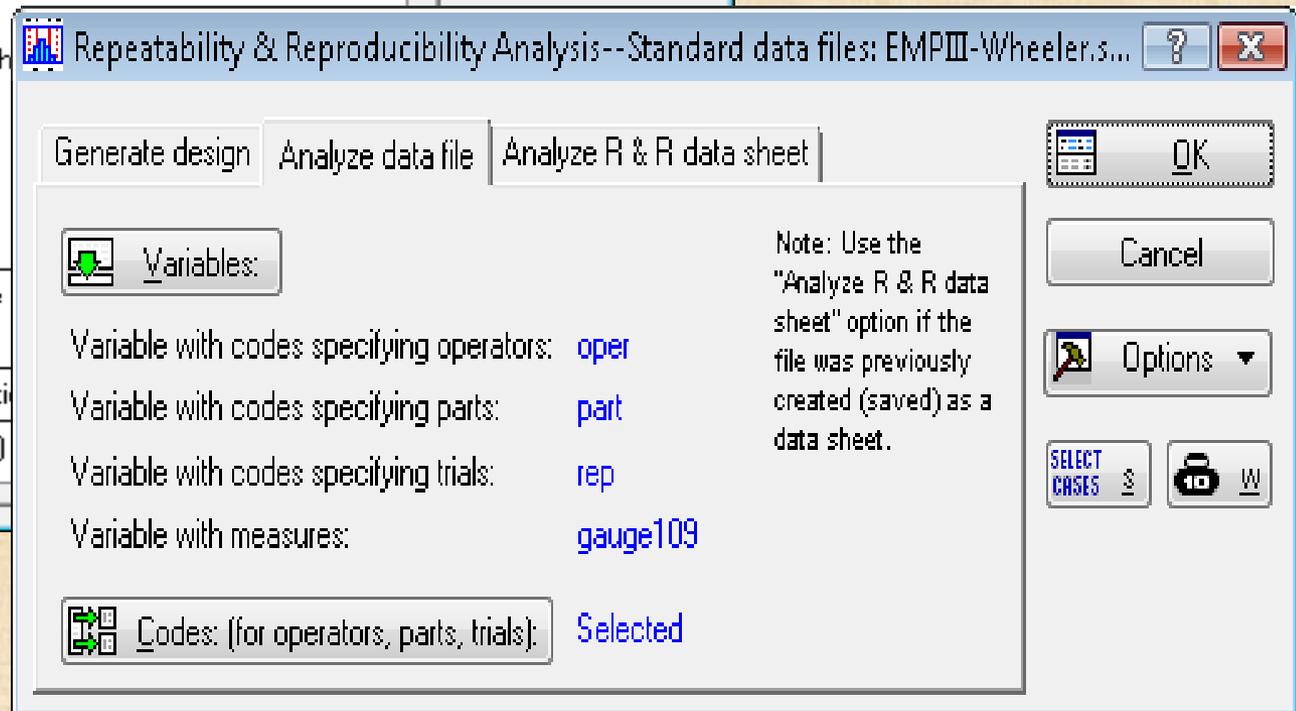
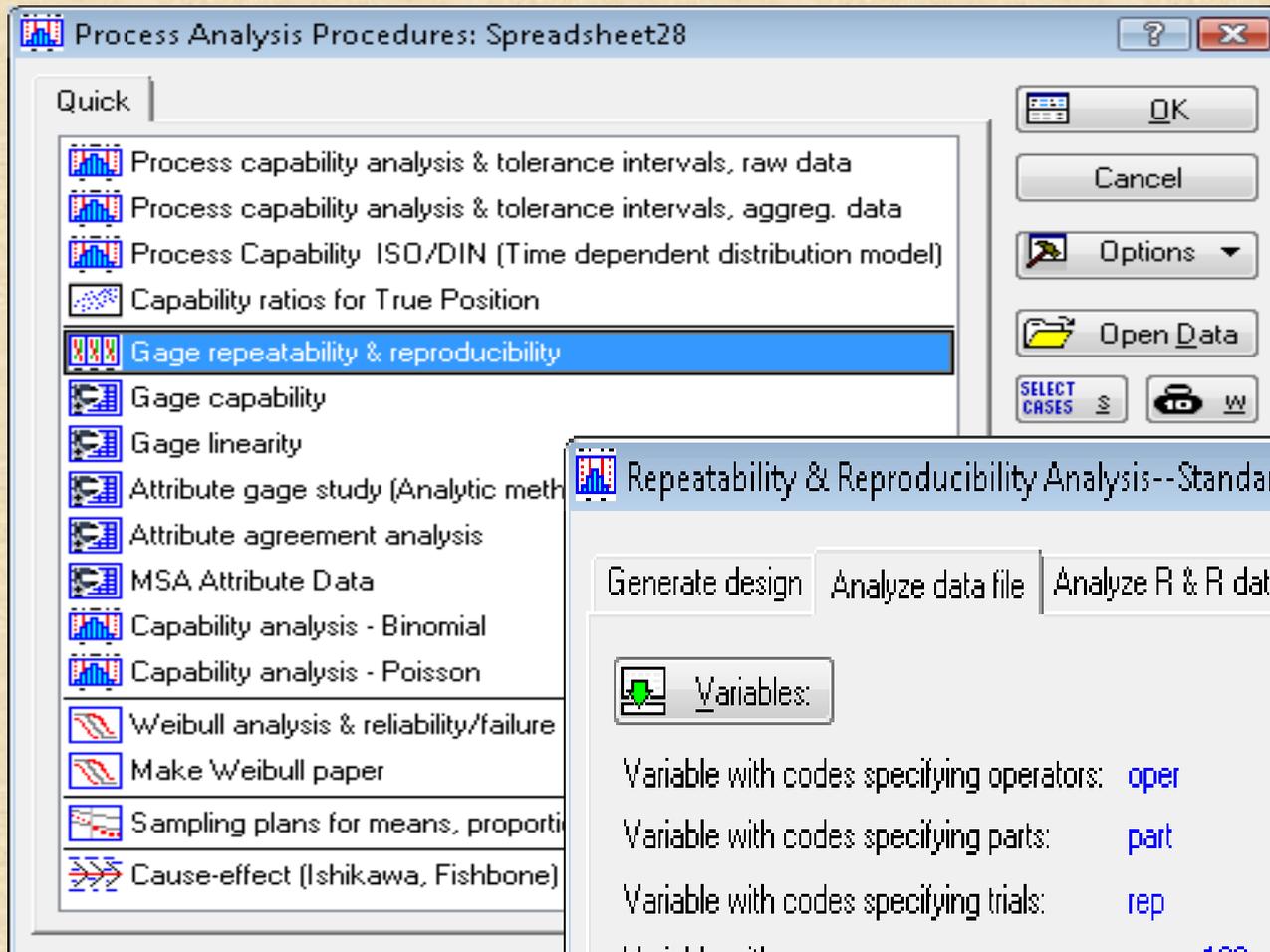
ANOME (**AN**alysis **O**f **MA**in **E**ffect)

SI **Rep Q1 = oui** **Rep Q2 = oui** **Rep Q3 = non**

Alors **le facteur potentiellement nuisible OPÉRATEUR**
ne l'est pas et on est comme dans la situation de base
avec un seul opérateur – voir page 35

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

UTILISATION du module **Process Analysis** de **STATISTICA**



ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Gage Repeatability & Reproducibility Results: EMPIII-Wheeler.sta in Measure.stw

Variable: gauge109 Mean: 33,6667 Std.Dev.: 16,4345 N: 30
Operators (oper): 3 Parts (part): 5 Trials (rep): 2

Quick Advanced Descriptives/plots Gage performance Options

Range method variance estimate ANOVA method variance estimate
 Range method percent tolerance ANOVA method percent tolerance
 Adjust appraiser variability (AIAG) Complete ANOVA table
 No 2-way (Operator-Part) interaction
Proportion for confidence interval: .900

Cancel
Options
By Group

NOTE: Repeatability computed as defined by AIAG and ISO. Reproducibility is alternatively referred to (AIAG) as Appraiser (Operator) Variation or (ISO) as Combined R&R.

Utilisation de l'étendue R

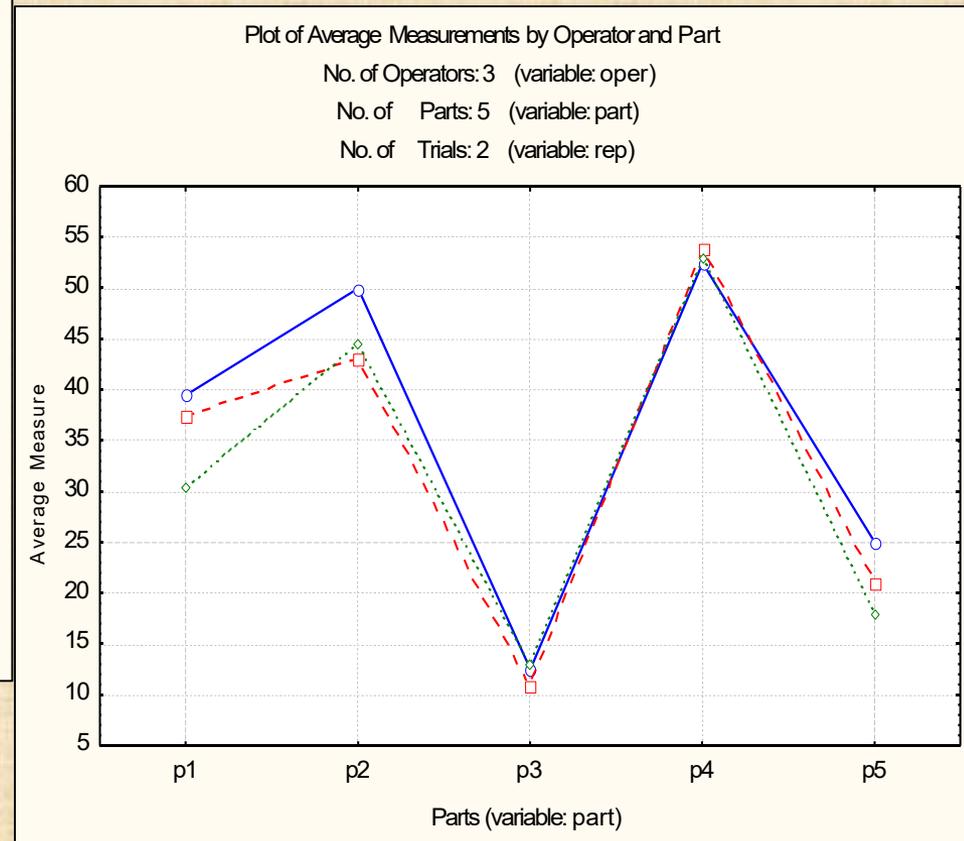
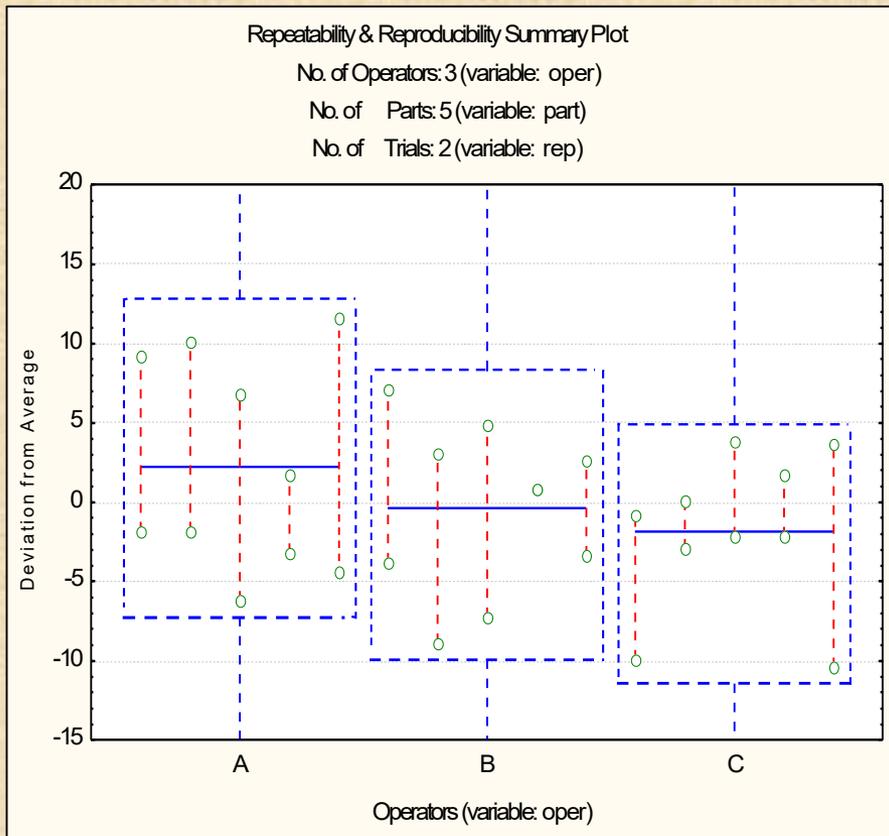
Utilisation de l'écart type s

Tableau d'analyse de la variance: avec interaction

si l'interaction est significative alors problème

situation normale: pas d'interaction Oper X part

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS



parallélisme? Rep1 = oui

Méthode 2 : ANOVA

EPM2: facteurs dans une étude **R**épétitivité et **R**eproductibilité (**R&R**)

O: opérateur P: pièce R: répétition

MODÈLE ANOVA $Y_{ijk} = \mu + \beta + O_i + P_j + (OP)_{ij} + E_{ijk}$

où Y_{ijk} : mesure obtenue / pièce j / opérateur i / répétition k

μ : «vraie valeur»

β : biais

O_i : effet opérateur

$\sim N(0, \sigma_o^2)$

$i = 1, \dots, o$

P_j : effet pièce

$\sim N(0, \sigma_p^2)$

$j = 1, \dots, p$

OP_{ij} : interaction O x P

$\sim N(0, \sigma_{op}^2)$

E_{ijk} : erreur mesure

$\sim N(0, \sigma_e^2)$

$k = 1, \dots, n$

**hypothèses
simplificatrices**

$\beta = 0$

on suppose que l'appareil est calibré

$\sigma_{op}^2 = 0$

aucun effet d'interaction entre opérateur et la pièce
(sinon il y a un « problème »)

PLAN de collecte des données souvent employé :

o: 2 ou 3

p: au moins 10

n: 2 ou 3

Important : les pièces doivent provenir d'un échantillonnage

reflétant la variabilité pièce à pièce (processus de fabrication)

OBJECTIF: estimation des écarts types σ_e σ_o σ_p + indices

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Analysis of Variance - Variable: gauge109

Source	Sums of Squares	df	Mean - Squares	F	p	Expected Variance	Expected Std.Dev.	Lower CL for StdDev	Upper CL for StdDev
Operators	86,07	2	43,03	3,03	0,10478	2,88	1,70	0,00	9,05
Parts	6884,00	4	1721,00	121,20	0,00000	284,47	16,87	8,51	41,60
Operators by Parts	113,60	8	14,20	0,28	0,96093	0,00	0,00	0,00	0,00
Gage (error)	749,00	15	49,93			49,93	7,07	5,47	10,16
Total	7832,67	29							

pas d'effet Oper X Part (interaction): OK

d'effet opérateur?

Rep3 = non

nouveau tableau d'ANOVA sans l'effet Oper X Part : page suivante

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Analysis of Variance - Variable: gauge109

Source	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p	Expected Variance	Expected std.Dev.	Lower CL for StDv	Upper CL for StDv
Operators	86,07	2	43,03	1,15	0,33497	0,55	0,74	0,00	8,94
Parts	6884,00	4	1721,00	45,89	0,00000	280,58	16,75	9,82	40,64
Operators by Parts									
Gage + Operator x Part (error)	862,60	23	37,50			37,50	6,12	4,95	8,12
Total	7832,67	29							

effet d'opérateur n'est pas significatif : Rep Q3 = non

agrégation : $86,07 + 862,60 = 948,67$ basée sur 25 (23+2) deg. liberté

estimation de $\hat{\sigma}_e^2 = 948,67 / 25 = 37,95 = (6,16)^2$

estimation de $\hat{\sigma}_p^2 = 280,58 = (16,75)^2$ $r_e = 280,58 / 318,53 = 0,88$

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Évaluation de r_{ep} avec la carte de contrôle (page 50)

$$\widehat{\sigma}_{ep}^2 = (\bar{R} / d_2)^2 = (8,933 / 1,128)^2 = (7,92)^2 = 62,73$$

Variable: gauge109
Operators: 3
Parts: 5
Trials: 2

part	Mean
p1	35,83
p2	45,83
p3	12,17
p4	53,17
p5	21,33
StdDev	16,936

$$\widehat{\sigma}_{\bar{X}}^2 = (16,936)^2 = 286,83$$

$$\widehat{\sigma}_p^2 = \widehat{\sigma}_{\bar{X}}^2 - (1/n \cdot o) \widehat{\sigma}_{ep}^2$$

$$= 286,83 - (1/6) (7,92)^2$$

$$= 276,4 = (16,62)^2$$

$$r_{ep} = 276,4 / (276,4 + 62,73)$$

$$= 0,81$$

Le résultat est semblable à celui calculé avec le tableau ANOVA qui est $r_e = 0,88$ l'appareil est de catégorie 1

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Que faire si l'effet opérateur est significatif?

On évalue le coefficient de corrélation intra classe en tenant en compte la valeur estimée de σ_o et on compare avec / sans σ_o

Exemple 14: gasket thickness

o = 3 opérateurs **p = 5 pièces**

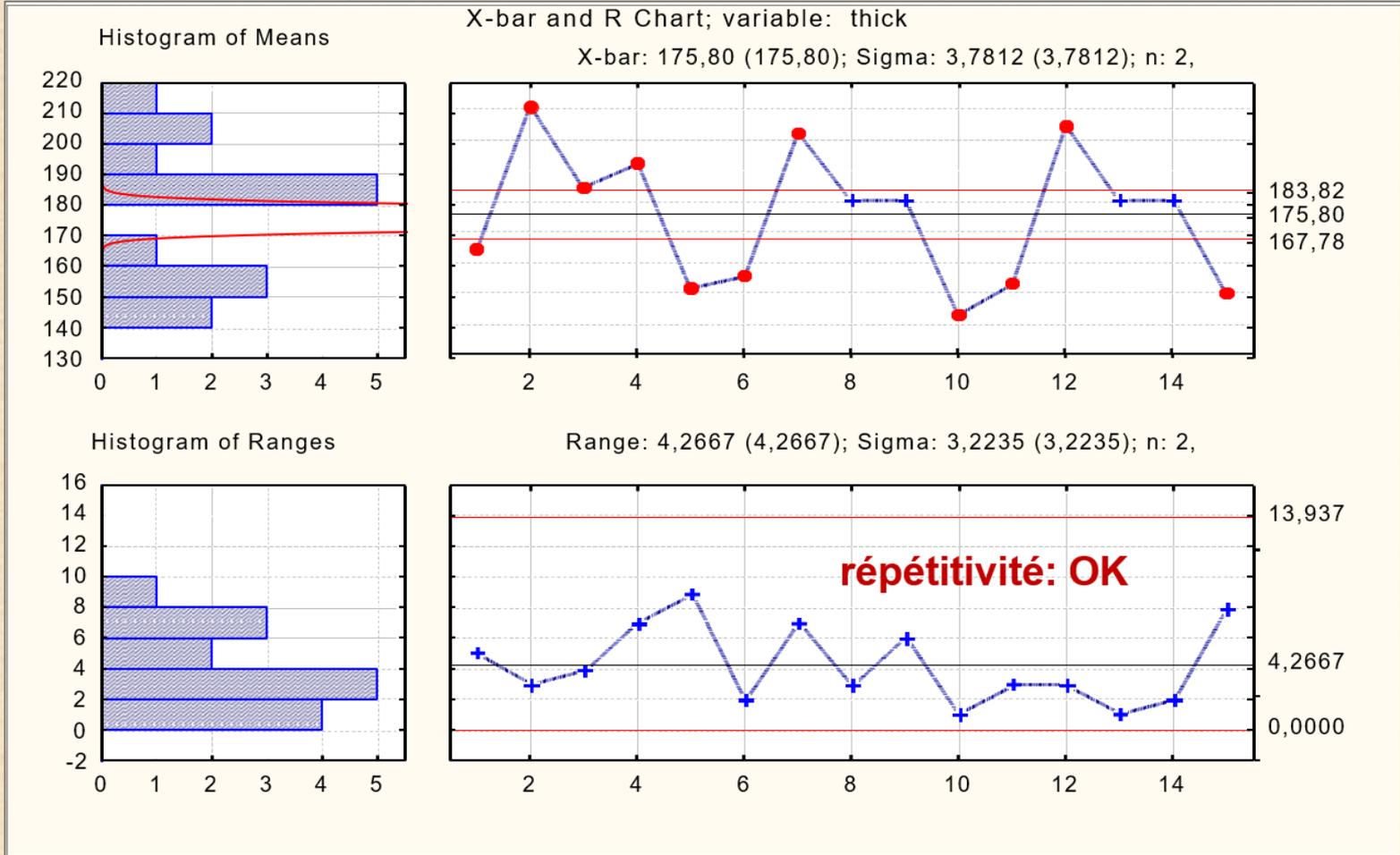
n = 2 répétitions

mesure = épaisseur (thick) (unité = mils)

65 oper	66 part	67 group	68 rep	69 thick
A	p1	A_p1	1	167
A	p1	A_p1	2	162
A	p2	A_p2	1	210
A	p2	A_p2	2	213
A	p3	A_p3	1	187
A	p3	A_p3	2	183
A	p4	A_p4	1	189
A	p4	A_p4	2	196
A	p5	A_p5	1	156
A	p5	A_p5	2	147
B	p1	B_p1	1	155
B	p1	B_p1	2	157
B	p2	B_p2	1	206
B	p2	B_p2	2	199
B	p3	B_p3	1	182
B	p3	B_p3	2	179
B	p4	B_p4	1	184
B	p4	B_p4	2	178
B	p5	B_p5	1	143
B	p5	B_p5	2	142
C	p1	C_p1	1	152
C	p1	C_p1	2	155
C	p2	C_p2	1	206
C	p2	C_p2	2	203
C	p3	C_p3	1	180
C	p3	C_p3	2	181
C	p4	C_p4	1	180
C	p4	C_p4	2	182
C	p5	C_p5	1	146
C	p5	C_p5	2	154

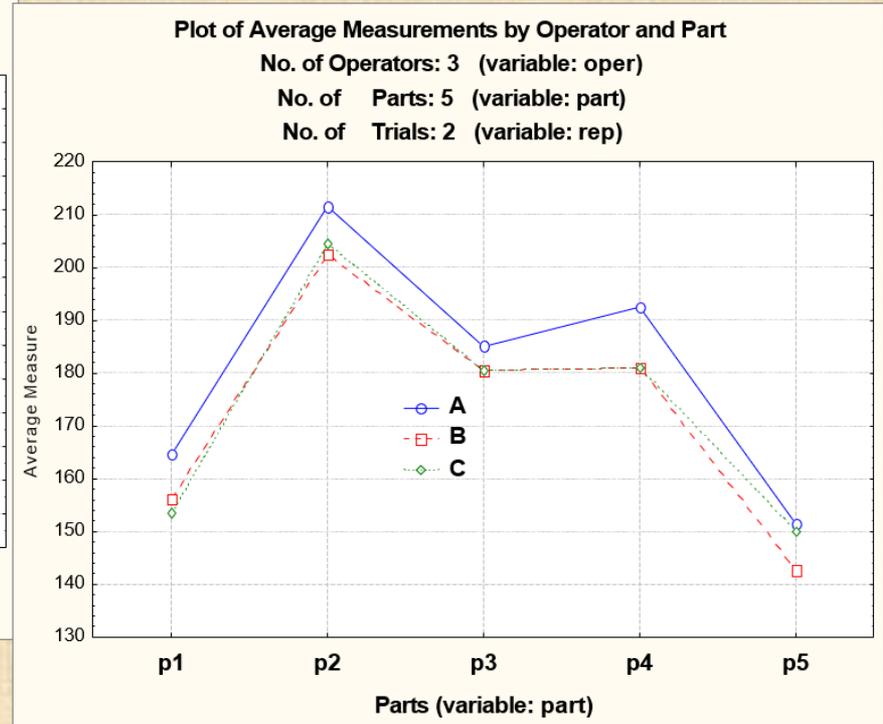
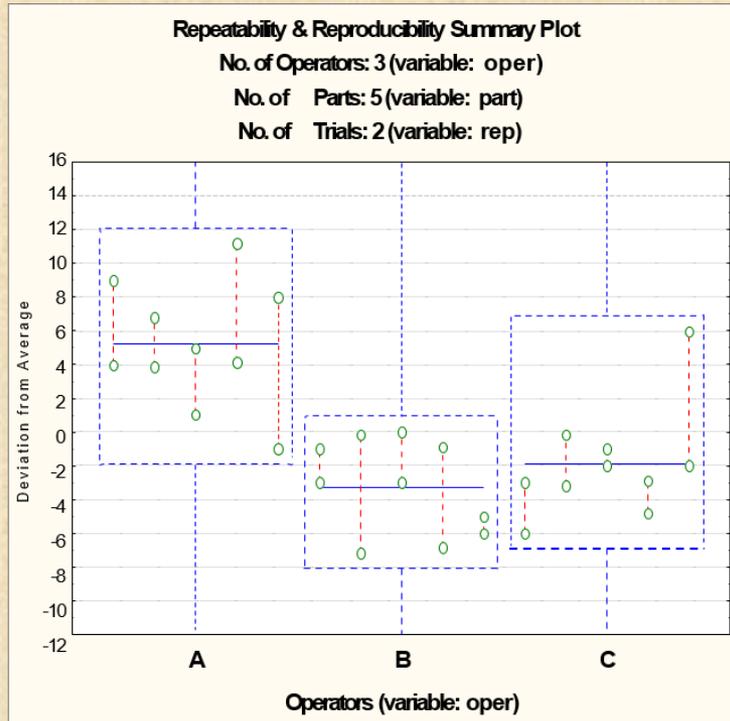
ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Exemple 14: gasket thickness
 o = 3 opérateurs p = 5 pièces
 n = 2 répétitions
 mesure = épaisseur (thick) (unité = mils)



ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Exemple 14: gasket thickness
o = 3 opérateurs p = 5 pièces
n = 2 répétitions
mesure = épaisseur (thick) (unité = mils)



parallélisme? Rep1 = oui

opérateur A : valeurs plus grandes que B et C

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Exemple 14: gasket thickness
 o = 3 opérateurs p = 5 pièces
 n = 2 répétitions
 mesure = épaisseur (thick) (unité = mils)

Analysis of Variance - Variable: thick

Source	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p	Expected Variance	Expected Std.Dev.	Lower CL for StDv	Upper CL for StDv
Operators	415,40	2	207,70	16,09	0,001571	19,48	4,41	1,835	20,03
Parts	12791,13	4	3197,78	247,73	0,000000	530,81	23,039	11,69	56,72
Operators by Parts	103,27	8	12,91	1,06	0,439225				
Gage (error)	183,00	15	12,20			12,20	3,493	2,71	5,02
Total	13492,80	29							

interaction Oper X part : nulle

effet opérateur: significatif

nouveau tableau ANOVA à faire : page suivante

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Analysis of Variance						Variable: thick			
Source	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p	Expected Variance	Expected Std.Dev.	Lower CL - for StDv	Upper CL - for StDv
Operators	415,40	2	207,70	16,69	0,000033	19,53	4,419	2,197	20,069
Parts	12791,13	4	3197,78	256,92	0,000000	530,89	23,041	13,732	55,486
Operators by Parts									
Gage + Operator x Part (error)	286,27	23	12,45			12,45	3,528	2,853	4,676
Total	13492,80	29							

coefficient de corrélation intra classe

avec effet d'opérateur : $r_o = 530,89 / (530,89 + 19,53 + 12,45) = 0,94$

sans effet d'opérateur : $r_e = 530,89 / (530,89 + 12,45) = 0,98$

l'instrument est un moniteur de classe 1

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Exemple 15: jauge 130

o = 3 opérateurs

p = 5 pièces

n = 2 répétitions

mesure = dimension (unité=micron)

étude 1

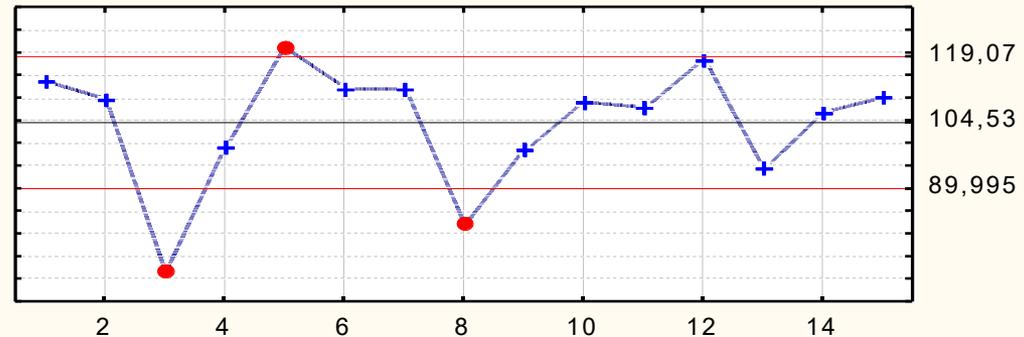
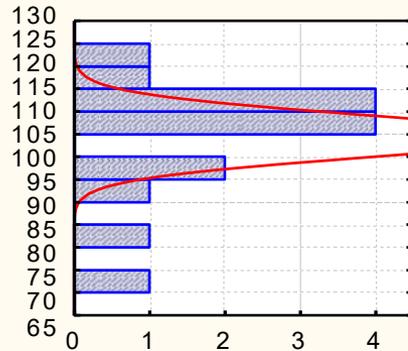
70 new	71 oper	72 part	73 group	74 rep	75 gauge130
p. 72	Bill	p1	Bill_p1	1	113
first	Bill	p1	Bill_p1	2	114
study	Bill	p2	Bill_p2	1	113
	Bill	p2	Bill_p2	2	106
	Bill	p3	Bill_p3	1	71
	Bill	p3	Bill_p3	2	73
	Bill	p4	Bill_p4	1	101
	Bill	p4	Bill_p4	2	97
	Bill	p5	Bill_p5	1	113
	Bill	p5	Bill_p5	2	130
	John	p1	John_p1	1	112
	John	p1	John_p1	2	112
	John	p2	John_p2	1	117
	John	p2	John_p2	2	107
	John	p3	John_p3	1	82
	John	p3	John_p3	2	83
	John	p4	John_p4	1	98
	John	p4	John_p4	2	99
	John	p5	John_p5	1	110
	John	p5	John_p5	2	108
	Terry	p1	Terry_p1	1	107
	Terry	p1	Terry_p1	2	109
	Terry	p2	Terry_p2	1	115
	Terry	p2	Terry_p2	2	122
	Terry	p3	Terry_p3	1	103
	Terry	p3	Terry_p3	2	86
	Terry	p4	Terry_p4	1	105
	Terry	p4	Terry_p4	2	109
	Terry	p5	Terry_p5	1	131
	Terry	p5	Terry_p5	2	90

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

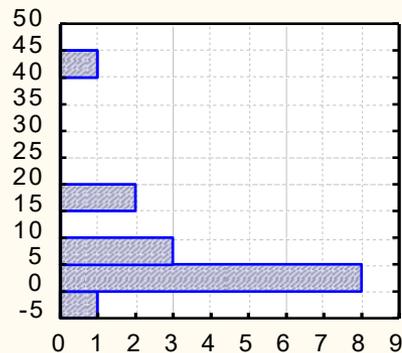
X-bar and R Chart; variable: gauge130

X-bar: 104,53 (104,53); Sigma: 6,8535 (6,8535); n: 2,

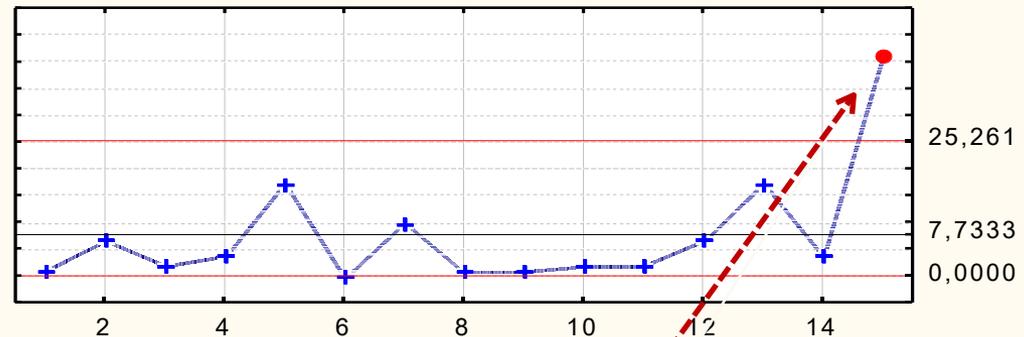
Histogram of Means



Histogram of Ranges



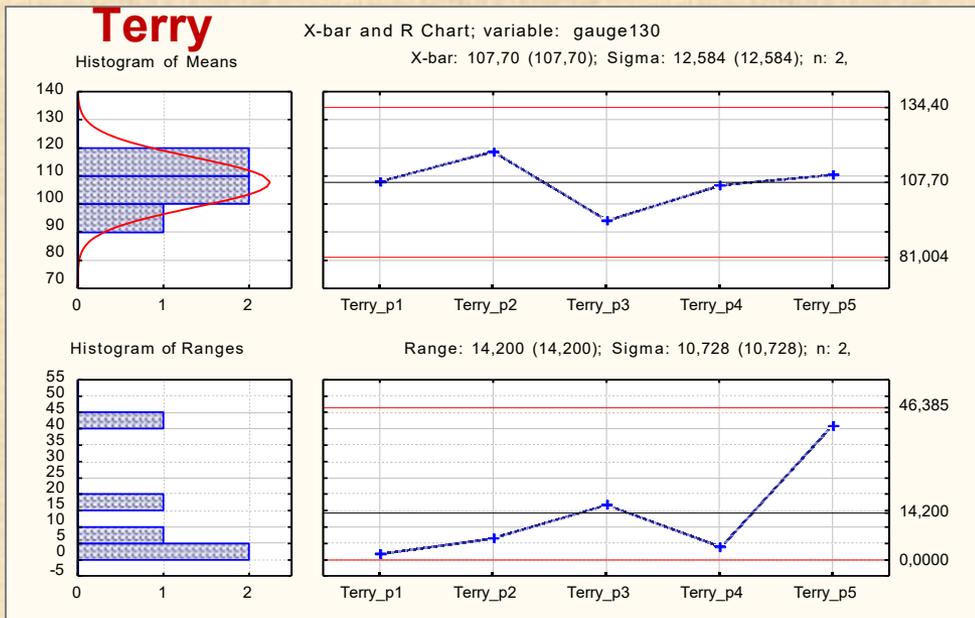
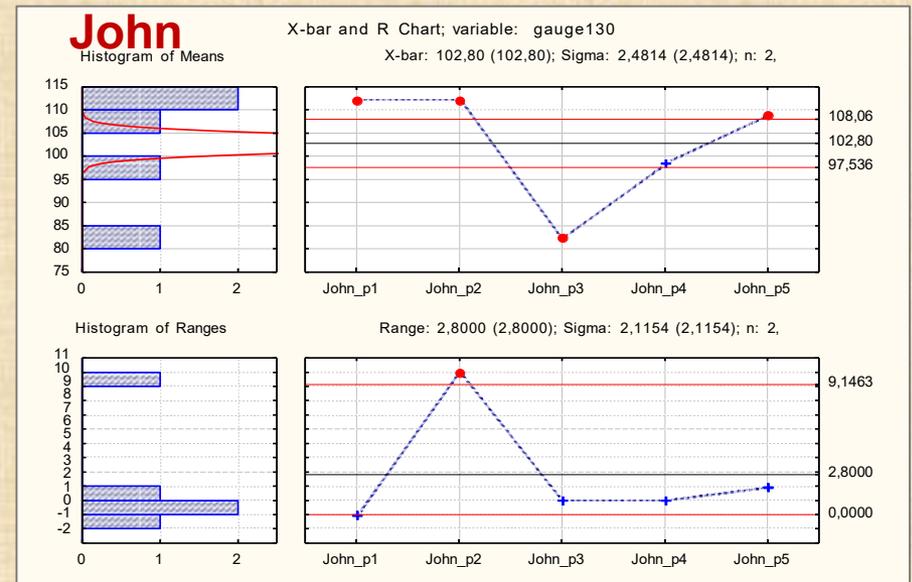
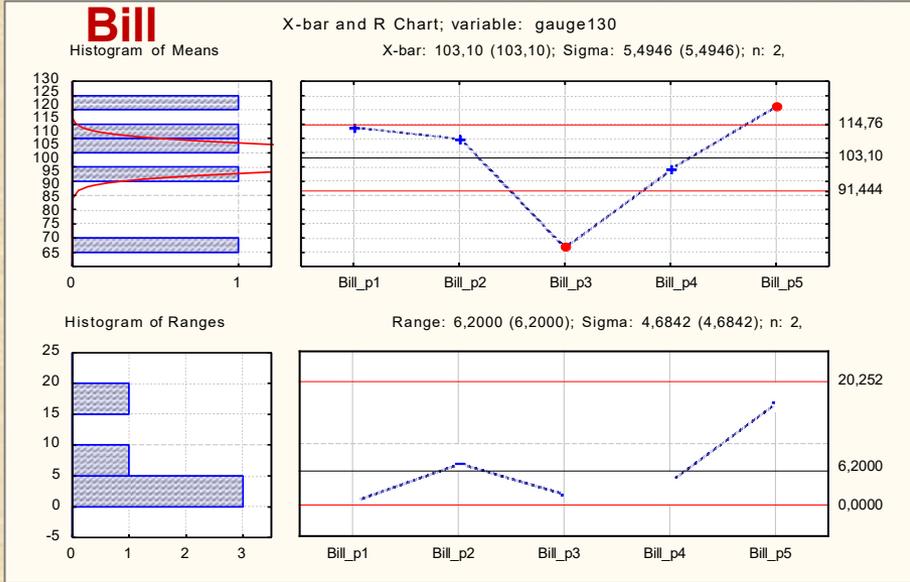
Range: 7,7333 (7,7333); Sigma: 5,8426 (5,8426); n: 2,



problème: manque de répétitivité ! données de Terry

**solution : faire une analyse pour chaque opérateur
voir page suivante**

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS



coefficient corrélation intra classe r_{ep}

Bill	0,84
John	0,96
Terry	0,50

- formation Terry déficiente...
 - nouvelle collecte de données suite à la formation

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Exemple 16: jauge 130 – o = 3 opérateurs p = 5 pièces n = 2 répétitions
 mesure = dimension (unité=micron) - étude 2

nouvelle collecte de données

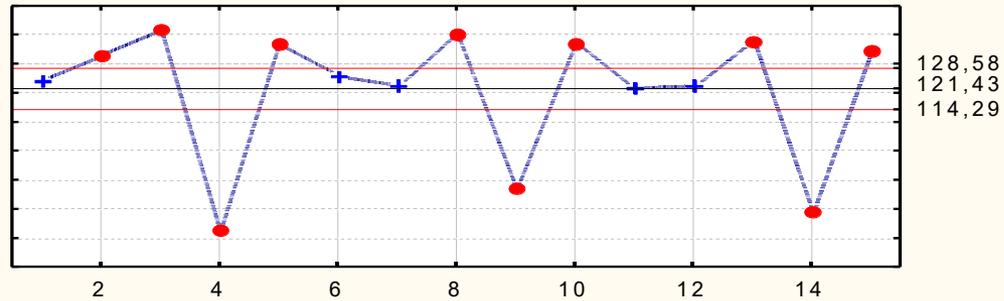
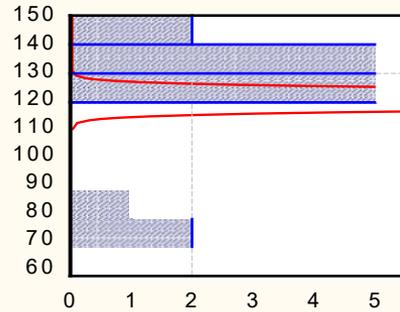
oper	part	group	rep	Gauge 130	oper	part	group	rep	Gauge 130	oper	part	group	rep	Gauge 130
Bill	p1	Bill_p1	1	124	John	p1	John_p1	1	124	Terry	p1	Terry_p1	1	123
Bill	p1	Bill_p1	2	125	John	p1	John_p1	2	128	Terry	p1	Terry_p1	2	121
Bill	p2	Bill_p2	1	136	John	p2	John_p2	1	124	Terry	p2	Terry_p2	1	126
Bill	p2	Bill_p2	2	131	John	p2	John_p2	2	121	Terry	p2	Terry_p2	2	120
Bill	p3	Bill_p3	1	144	John	p3	John_p3	1	139	Terry	p3	Terry_p3	1	140
Bill	p3	Bill_p3	2	140	John	p3	John_p3	2	142	Terry	p3	Terry_p3	2	136
Bill	p4	Bill_p4	1	75	John	p4	John_p4	1	90	Terry	p4	Terry_p4	1	74
Bill	p4	Bill_p4	2	70	John	p4	John_p4	2	85	Terry	p4	Terry_p4	2	85
Bill	p5	Bill_p5	1	138	John	p5	John_p5	1	137	Terry	p5	Terry_p5	1	134
Bill	p5	Bill_p5	2	137	John	p5	John_p5	2	138	Terry	p5	Terry_p5	2	136

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

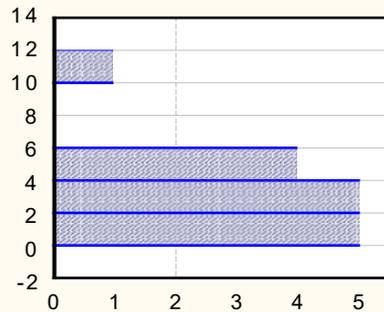
X-bar and R Chart; variable: gauge130

X-bar: 121,43 (121,43); Sigma: 3,3677 (3,3677); n: 2,

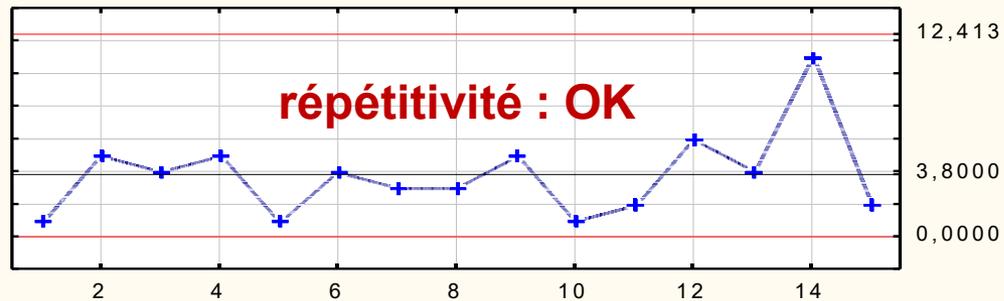
Histogram of Means



Histogram of Ranges



Range: 3,8000 (3,8000); Sigma: 2,8709 (2,8709); n: 2,



**voir
formules
page 46**

$$\hat{\sigma}_{ep} = 3,80/1,128 = 3,37$$

$$\hat{\sigma}_p = 24,16$$

$$r_{ep} = 0,98$$

aussi : pas de différence entre les opérateurs

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

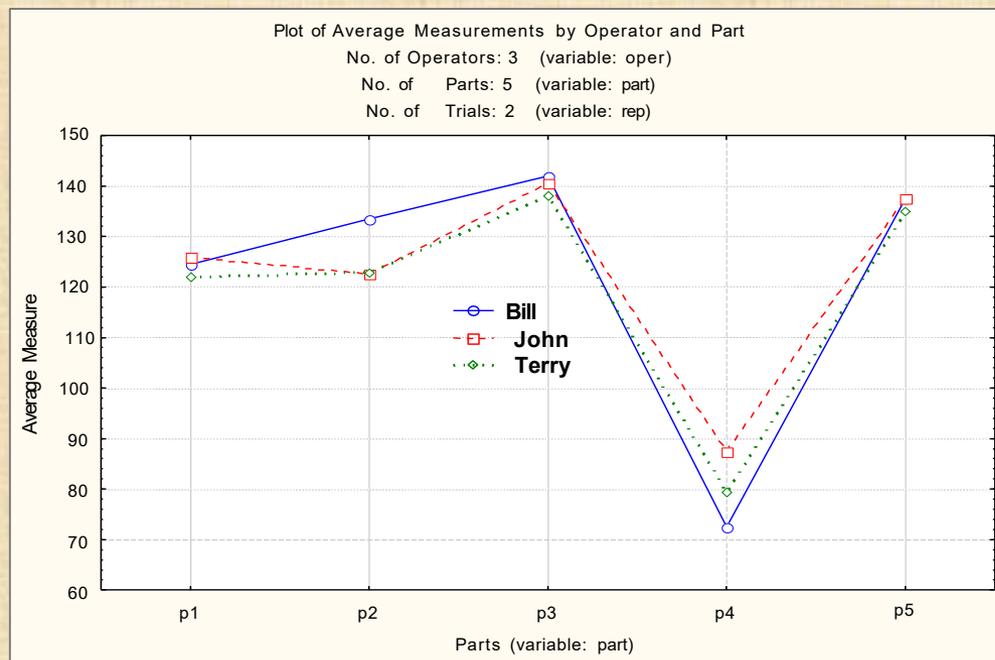
Analysis of Variance - Variable: gauge130									
Source	Sums of - Squares	df	Mean - Squares	F	p	Expected Variance	Expected Std.Dev.	Lower CL for StDv	Upper CL for StDv
Operators	59,27	2	29,63	1,32	0,286	0,72	0,849	0,0000	7,44
Parts	14070,20	4	3517,55	156,82	0,0000	582,52	24,135	14,351	58,18
Operators by Parts									
Gage + Operator x Part (error)	515,90	23	22,43			22,43	4,736	3,830	6,278
Total	14645,37	29							

avec le tableau ANOVA combinant Oper avec Gage + Oper x Part

$$\hat{\sigma}_e = [(59,27 + 515,90) / 25]^{0,5} = (23,01)^{0,5} = 4,80$$

$$\hat{\sigma}_p = (582,52)^{0,5} = 24,135$$

$$r_{ep} = 0,96$$



ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Exemple 17: étude 33 – o = 3 opérateurs p = 6 pièces n = 2 répétitions
mesure = caractéristique sur tranche silicium (unité=micron)

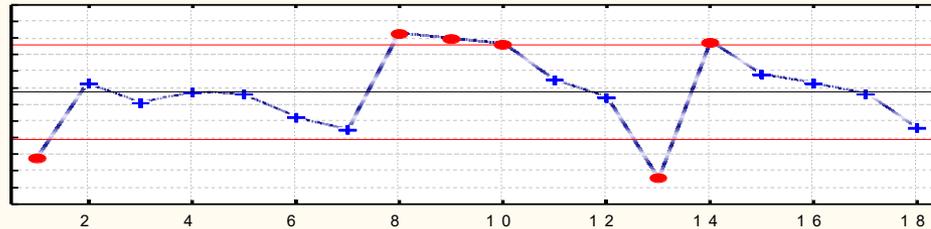
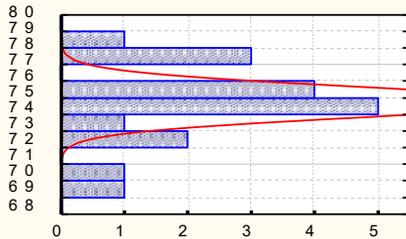
operator	Wafer	group	rep	measure	operator	Wafer	group	rep	measure	operator	Wafer	group	rep	measure
A	w1	A_w1	1	70,52	B	w1	B_w1	1	72,08	C	w1	C_w1	1	70,56
A	w1	A_w1	2	71,03	B	w1	B_w1	2	72,89	C	w1	C_w1	2	68,61
A	w2	A_w2	1	74,40	B	w2	B_w2	1	77,78	C	w2	C_w2	1	76,88
A	w2	A_w2	2	76,24	B	w2	B_w2	2	78,90	C	w2	C_w2	2	78,61
A	w3	A_w3	1	75,54	B	w3	B_w3	1	76,93	C	w3	C_w3	1	75,34
A	w3	A_w3	2	74,68	B	w3	B_w3	2	78,93	C	w3	C_w3	2	76,35
A	w4	A_w4	1	75,20	B	w4	B_w4	1	78,40	C	w4	C_w4	1	75,65
A	w4	A_w4	2	74,33	B	w4	B_w4	2	76,90	C	w4	C_w4	2	75,02
A	w5	A_w5	1	73,99	B	w5	B_w5	1	76,04	C	w5	C_w5	1	73,91
A	w5	A_w5	2	75,39	B	w5	B_w5	2	75,01	C	w5	C_w5	2	75,46
A	w6	A_w6	1	71,89	B	w6	B_w6	1	75,98	C	w6	C_w6	1	73,73
A	w6	A_w6	2	74,70	B	w6	B_w6	2	72,87	C	w6	C_w6	2	71,55

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

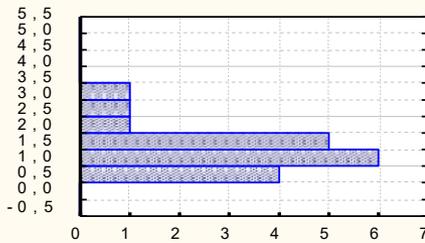
X-bar and R Chart; variable: measure

X-bar: 74,730 (74,730); Sigma: 1,3387 (1,3387); n: 2,

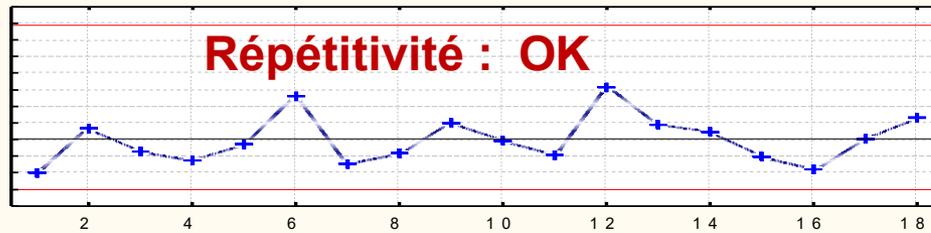
Histogram of Means



Histogram of Ranges



Range: 1,5106 (1,5106); Sigma: 1,1412 (1,1412); n: 2,



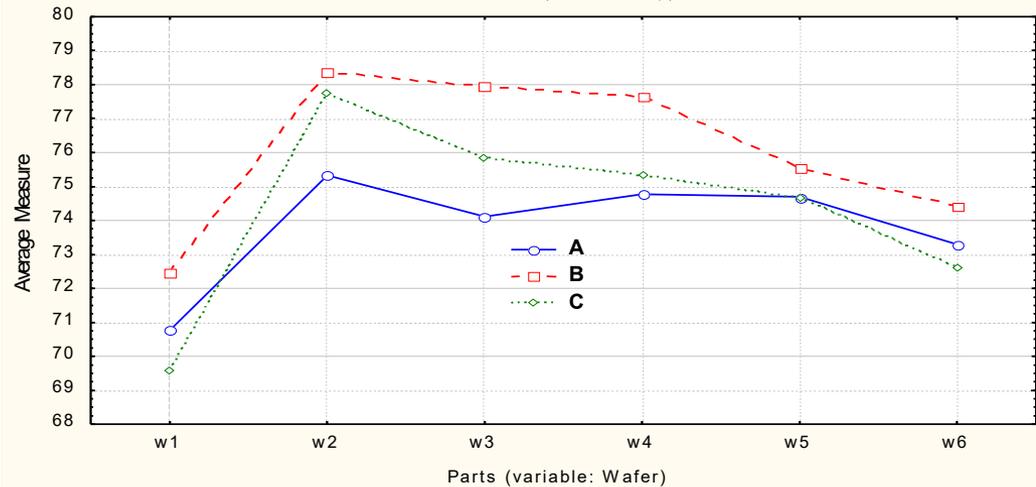
présence de biais entre les opérateurs

Plot of Average Measurements by Operator and Part

No. of Operators: 3 (variable: operator)

No. of Parts: 6 (variable: Wafer)

No. of Trials: 2 (variable: rep)



ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Analysis of Variance - Variable: mesure - modèle **AVEC** interaction Oper x Part

Source	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p	Expected Variance	Expected Std.Dev.	Lower CL for StDv	Upper CL for StDv
Operator	33,17	2	16,58	12,07	0,002153	1,27	1,13	0,47	5,17
Parts	148,18	5	29,635	21,58	0,000046	4,71	2,17	1,12	4,81
Operators by Parts	13,74	10	1,374	0,99	0,483845	0,000	0,000	0,000	1,11
Gage (error)	24,91	18	1,38			1,38	1,18	0,93	1,63
Total	219,99	35							

Analysis of Variance - Variable: mesure - modèle **SANS** interaction Oper x Part

Source	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p	Expected Variance	Expected Std.Dev.	Lower CL for StDv	Upper CL for StDv
Operator	33,17	2	16,58	12,02	0,000171	1,27	1,13	0,55	5,17
Parts	148,18	5	29,635	21,47	0,000000	4,71	2,17	1,30	4,69
Operator by Parts									
Gage + Operator x Part (error)	38,65	28	1,38			1,38	1,17	0,97	1,51
Total	219,99	35							

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

opérateur $\widehat{\sigma_o^2} = 1,27$

pièce $\widehat{\sigma_p^2} = 4,71$

erreur pure $\widehat{\sigma_e^2} = 1,38$

coefficient intra classe avec opérateur $r_o = 4,71 / (4,71 + 1,27 + 1,38) = 0,64$

coefficient intra classe sans opérateur $r_e = 4,71 / (4,71 + 1,38) = 0,77$

- présence de biais entre les opérateurs dégrade les mesures
- recherche des causes en vue de les éliminer et améliorer le système de mesure

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Exemple 18: test compression – o = 2 opérateurs p = 5 pièces n = 3 rép.
mesure = caractéristique force compression (unité = pounds)

oper	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B
pad	pad1	pad2	pad3	pad4	pad5	pad1	pad2	pad3	pad4	pad5
round 1	28,2	27,0	28,0	27,4	27,4	27,8	27,4	27,6	27,4	28,8
round 2	27,6	27,4	27,8	27,0	28,0	27,8	28,2	29,0	28,4	30,2
round 3	29,6	29,6	30,4	29,4	29,6	29,6	29,4	30,2	30,0	30,0

information sur le test de compression pour mesurer la rigidité

5 pièces (mousse en polyuréthane = pad) proviennent d'un échantillon de la production (une pièce par jour).

Un bélier hydraulique de 50 po² (= 325 cm²) est enfoncé dans la mousse.

La force (pounds = 4,45 Newtons) de compression nécessaire pour enfoncer le bélier d'une certaine distance est enregistrée.

Plus la force est élevée, plus la mousse est rigide.

Chaque mousse est reposée 24 heures entre chaque test afin qu'elle puisse revenir à son état initial.

ronde 1 : 5 mousses sont testées au jour 1 par l'opérateur A

Elles sont testées au jour 2 par l'opérateur B

ronde 2 : jour 3 test avec opérateur A / jour 4 test avec opérateur B

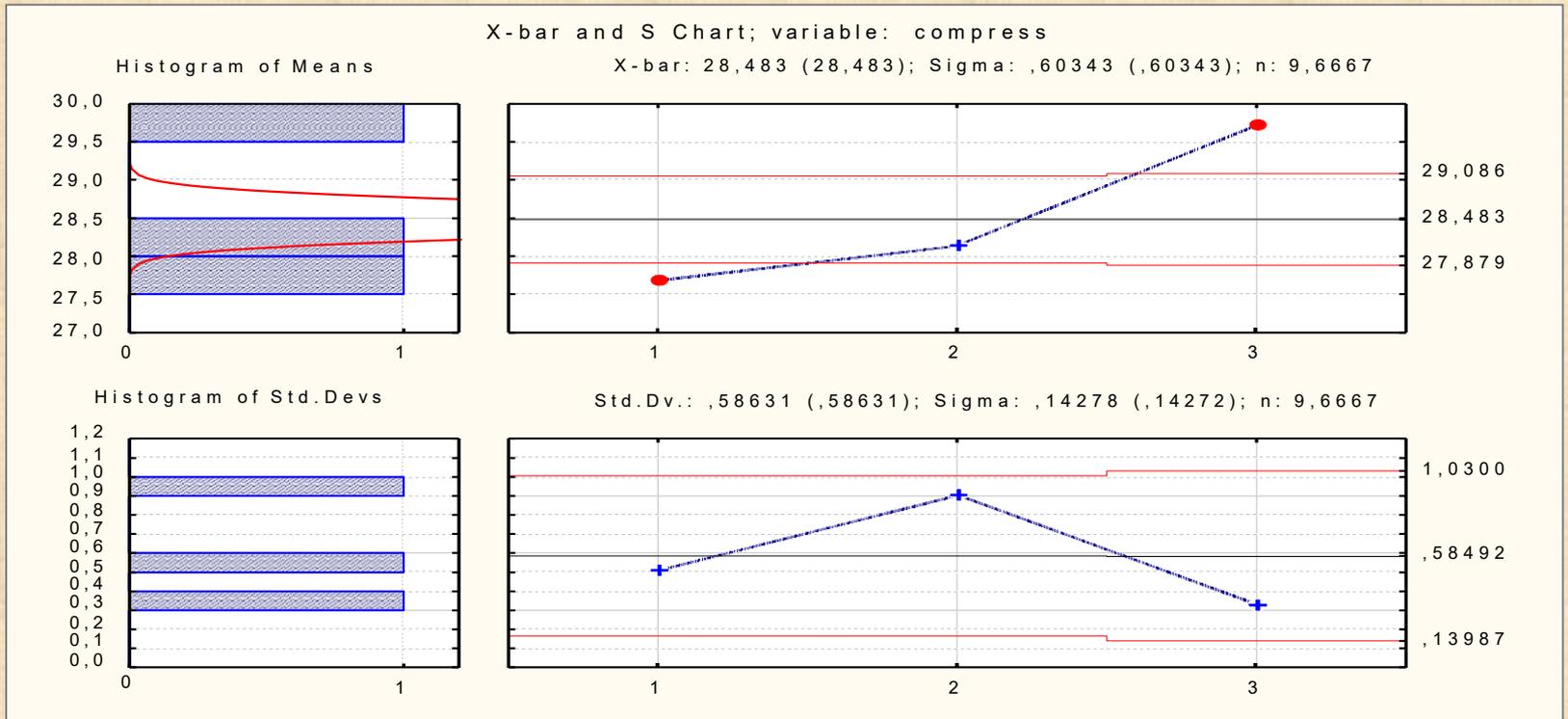
ronde 3 : jour 5 test avec opérateur A / jour 6 test avec opérateur B

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

différences significatives entre les rondes?

Pour répondre à la question

- carte Xbar&S (ou Xbar&R) avec 3 groupes de n = 10 obs.
- Breakdown & one-way ANOVA (module Basic Statistics and Tables)



différence significative entre les rondes

ronde 3 diffère de ronde 1 et 2 ... le matériau ne retrouve pas son état

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Basic Statistics and Tables: EMPIII-Wheeler...

Quick

- Descriptive statistics
- Correlation matrices
- t-test, independent, by groups
- t-test, independent, by variables
- t-test, dependent samples
- t-test, single sample
- Breakdown & one-way ANOVA**
- Breakdown; non-factorial tables
- Frequency tables
- Tables and banners
- Multiple response tables
- Difference tests: r, %, means
- Probability calculator

OK

Statistics by Groups (Breakdown): EMPIII-Wheeler.sta in Mesure.stw

Individual tables | Lists of tables

OK

Cancel

Variables

Dependent: compress

Grouping: round

Codes for grouping

Statistics by Groups - Results: EMPIII-Wheeler.sta in Mesure.stw

DEPENDENT: 1 variable: compress

GROUPING: 1-round (3): 1 2 3

Quick | Descriptives | ANOVA & tests | Post-hoc

Summary

Cancel

Options

By Group...

Analysis of Variance

Perform Welch's F-Test

Tests of homog. of variances

Levene tests

Brown-Forsythe tests

Categorized normal prob. plots

Categorized half-normal p-plots

Categorized detrended p-plots

Plot of means vs. std. devs

Interaction plots

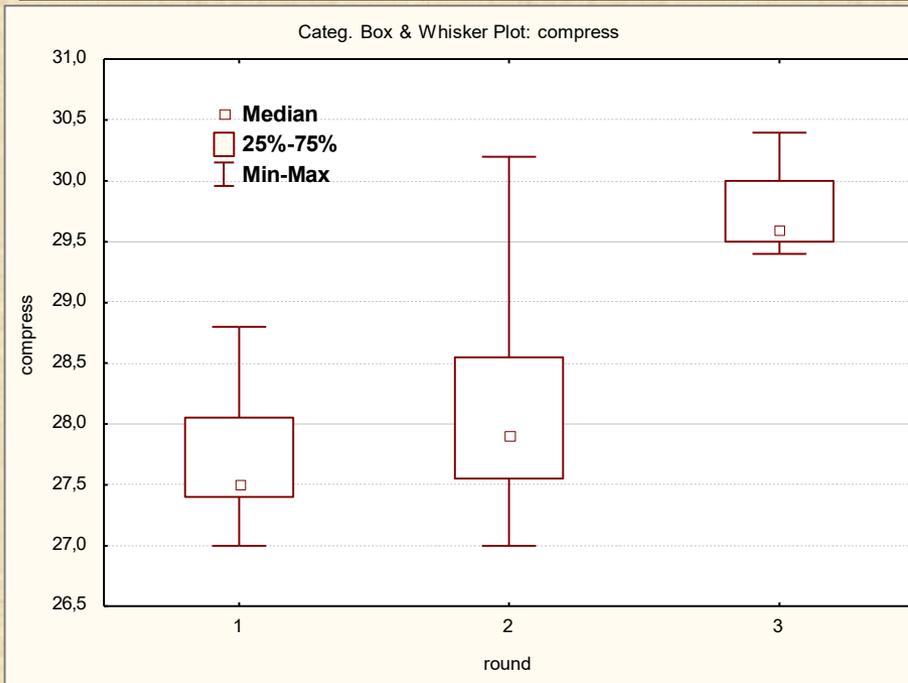
Plot confidence intervals for means: 95.00 %

p-value for highlighting: .05

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Analysis of Variance Marked effects are significant at $p < 0,05000$

	SS Effect	Df Effect	MS Effect	SS Error	Df Error	MS Error	F	p
compress	21,377	2	10,689	10,744	26	0,413	25,867	0,000001



Breakdown Table of Descriptive Statistics N=29 (No missing data in dep. var. list)		
Compress Means	Compress N	Compress Std.Dev.
27,70	10	0,519
28,14	10	0,909
29,73	9	0,332
28,48	29	1,071

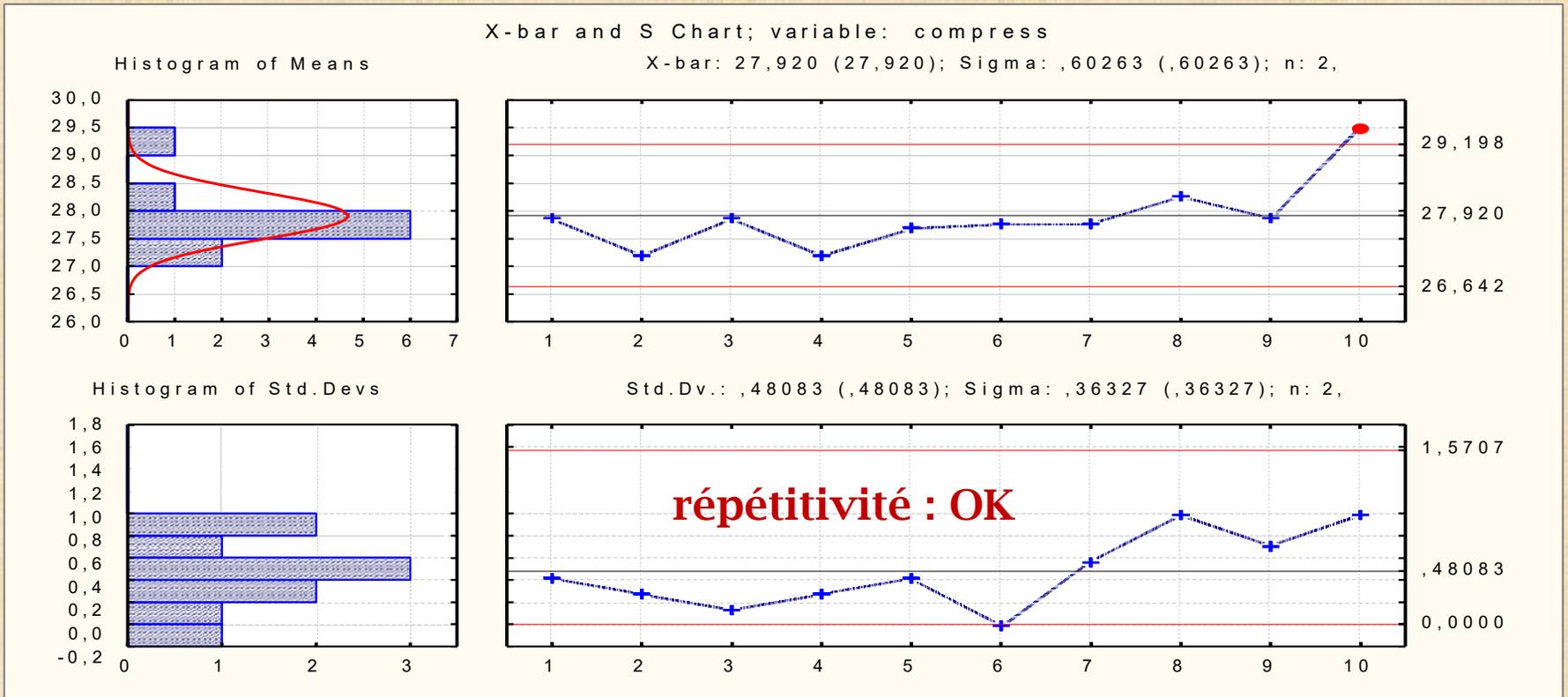
Tukey HSD test; Variable: compress Marked differences are significant at $p < ,05000$			
	{1} M=27,70	{2} M=28,14	{3} M=29,73
1 {1}		0,293611	0,000130
2 {2}	0,293611		0,000156
3 {3}	0,000130	0,000156	

pas différence entre round 1 et round 2
différence entre round 1 et round 3
différence entre round 2 et round 3

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Exemple 19 : étude avec les données de round 1 et round 2 seulement

oper	A		A			B		B		B
pad	pad1	pad2	pad3	pad4	pad5	pad1	pad2	pad3	pad4	pad5
round 1	28,2	27,0	28,0	27,4	27,4	27,8	27,4	27,6	27,4	28,8
round 2	27,6	27,4	27,8	27,0	28,0	27,8	28,2	29,0	28,4	30,2



ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Analysis of Variance - Variable: compress									
Source	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p	Expected variance	Expected Std.Dev.	Lower CL for StDv	Upper CL for StDv
Operators	2,312	1	2,312	6,14	0,0265	0,194 = $\hat{\sigma}_o^2$	0,44	0,11	7,53
Parts	3,252	4	0,813	2,16	0,1267	0,109 = $\hat{\sigma}_p^2$	0,33	0,00	1,05
O x P									
Gage + Operator x Part (error)	5,268	14	0,376			0,376 = $\hat{\sigma}_e^2$	0,61	0,47	0,89
Total	10,832	19							

opérateur $\hat{\sigma}_o^2 = 0,194$
 pièce $\hat{\sigma}_p^2 = 0,109$
 erreur pure $\hat{\sigma}_e^2 = 0,376$

coefficient intra classe $r_o = 0,109 / (0,109+0,194+0,376) = 0,16$

AVEC opérateur

coefficient intra classe $r_e = 0,109 / (0,109+0,376) = 0,22$

SANS opérateur

- présence de biais entre les opérateurs dégrade les mesures
- moniteur de classe 4 : il faut changer le processus pour mesurer la rigidité

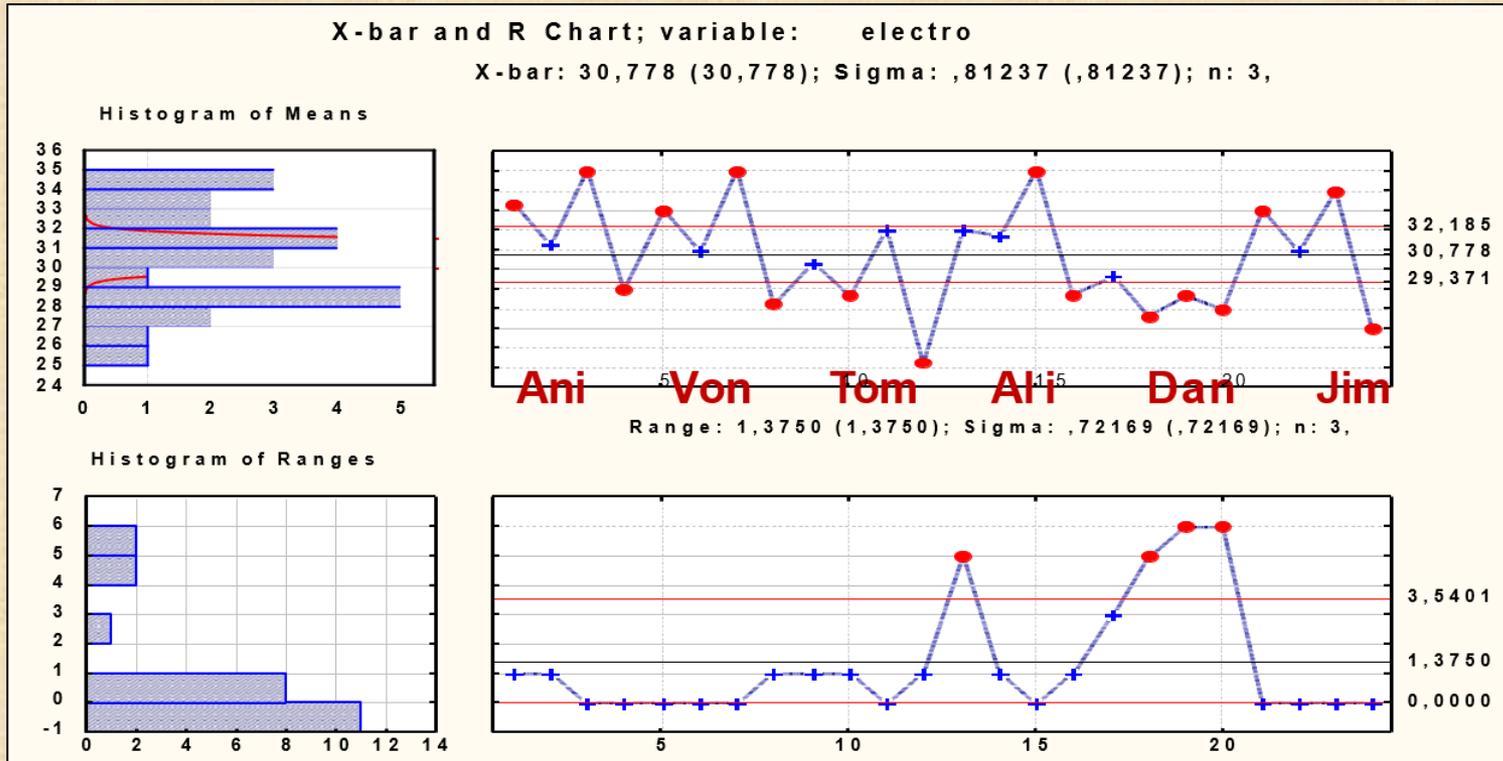
ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Exemple20 : o = 6 opérateurs p = 4 pièces n = 3 rep. Y_électromagnétique

	1 oper	2 part	3 group	4 rep	5 Y_electro	6 c6	7 oper	8 part	9 group	10 rep	11 Y_electro_2	12 c12	13 oper	14 part	15 group	16 rep	17 Y_electro_3
1	Ani	p1	Ani_p1	1	33		Tom	p1	Tom_p1	1	31		Dan	p1	Dan_p1	1	30
2	Ani	p1	Ani_p1	2	34		Tom	p1	Tom_p1	2	30		Dan	p1	Dan_p1	2	28
3	Ani	p1	Ani_p1	3	33		Tom	p1	Tom_p1	3	30		Dan	p1	Dan_p1	3	31
4	Ani	p2	Ani_p2	1	32		Tom	p2	Tom_p2	1	29		Dan	p2	Dan_p2	1	25
5	Ani	p2	Ani_p2	2	31		Tom	p2	Tom_p2	2	29		Dan	p2	Dan_p2	2	30
6	Ani	p2	Ani_p2	3	31		Tom	p2	Tom_p2	3	28		Dan	p2	Dan_p2	3	28
7	Ani	p3	Ani_p3	1	35		Tom	p3	Tom_p3	1	32		Dan	p3	Dan_p3	1	31
8	Ani	p3	Ani_p3	2	35		Tom	p3	Tom_p3	2	32		Dan	p3	Dan_p3	2	25
9	Ani	p3	Ani_p3	3	35		Tom	p3	Tom_p3	3	32		Dan	p3	Dan_p3	3	30
10	Ani	p4	Ani_p4	1	29		Tom	p4	Tom_p4	1	26		Dan	p4	Dan_p4	1	28
11	Ani	p4	Ani_p4	2	29		Tom	p4	Tom_p4	2	25		Dan	p4	Dan_p4	2	31
12	Ani	p4	Ani_p4	3	29		Tom	p4	Tom_p4	3	25		Dan	p4	Dan_p4	3	25
13	Von	p1	Von_p1	1	33		Ali	p1	Ali_p1	1	34		Jim	p1	Jim_p1	1	33
14	Von	p1	Von_p1	2	33		Ali	p1	Ali_p1	2	29		Jim	p1	Jim_p1	2	33
15	Von	p1	Von_p1	3	33		Ali	p1	Ali_p1	3	33		Jim	p1	Jim_p1	3	33
16	Von	p2	Von_p2	1	31		Ali	p2	Ali_p2	1	32		Jim	p2	Jim_p2	1	31
17	Von	p2	Von_p2	2	31		Ali	p2	Ali_p2	2	32		Jim	p2	Jim_p2	2	31
18	Von	p2	Von_p2	3	31		Ali	p2	Ali_p2	3	31		Jim	p2	Jim_p2	3	31
19	Von	p3	Von_p3	1	35		Ali	p3	Ali_p3	1	35		Jim	p3	Jim_p3	1	34
20	Von	p3	Von_p3	2	35		Ali	p3	Ali_p3	2	35		Jim	p3	Jim_p3	2	34
21	Von	p3	Von_p3	3	35		Ali	p3	Ali_p3	3	35		Jim	p3	Jim_p3	3	34
22	Von	p4	Von_p4	1	29		Ali	p4	Ali_p4	1	29		Jim	p4	Jim_p4	1	27
23	Von	p4	Von_p4	2	28		Ali	p4	Ali_p4	2	29		Jim	p4	Jim_p4	2	27
24	Von	p4	Von_p4	3	28		Ali	p4	Ali_p4	3	28		Jim	p4	Jim_p4	3	27

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

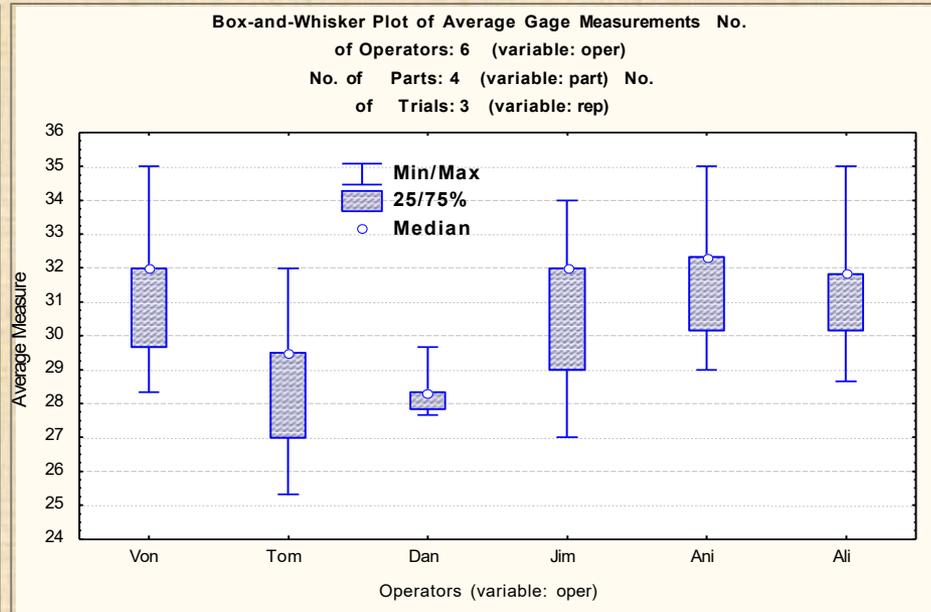
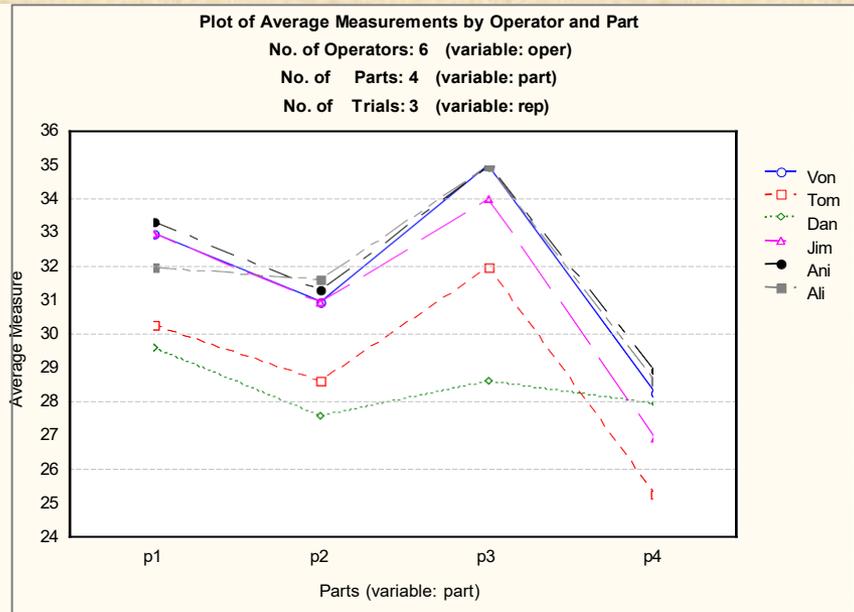
Exemple20 : o = 6 opérateurs p = 4 pièces n = 3 rep. Y_électromagnétique



Problèmes avec ces données

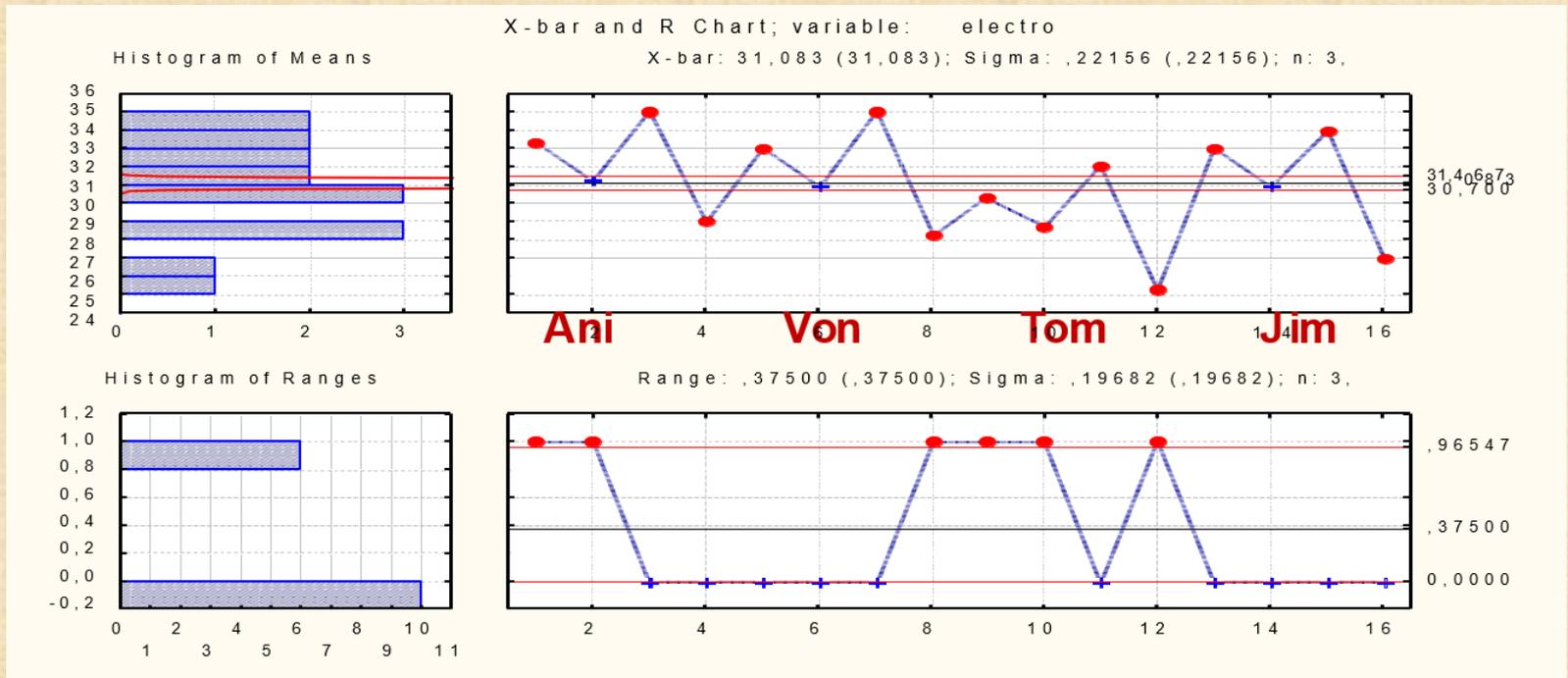
- manque de répétitivité : signaux dans la carte R
- manque de parallélisme entre les opérateurs : biais présents
- opérateurs: Dan ne comprend pas / Ali manque de répétitivité

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS



Analysis of Variance - Variable: electro							
Source	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p	Expected Variance	Expected Std.Dev.
Operators	149,28	5	29,86	8,70	0,0005	2,20	1,48
Parts	308,33	3	102,78	29,94	0,0000	5,52	2,35
Operators by Parts	51,50	15	3,43	2,19	0,0206	0,62	0,79
Gage (error)	75,33	48	1,57			1,57	1,25
Total	584,44	71					

Nouvelle analyse : données de Ani – Von – Tom - Jim



nouveau problème révélé par la carte R

On a seulement 2 valeurs distinctes de R : 0 et 1
Il manque au moins un chiffre additionnel dans les mesures.
Il faut au moins 4 ($n=2$) ou 5 ($n \geq 3$) valeurs distinctes de R
pour faire une carte de comportement Xbar&R.

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Exemple 21 : étude à la ronde (Round Robin) – o = 6 laboratoires
p = 6 produits distincts (comp) A B C D E F et non des exemplaires
n = 3 répétitions à chaque produit.
mesure = silicat producing volatiles

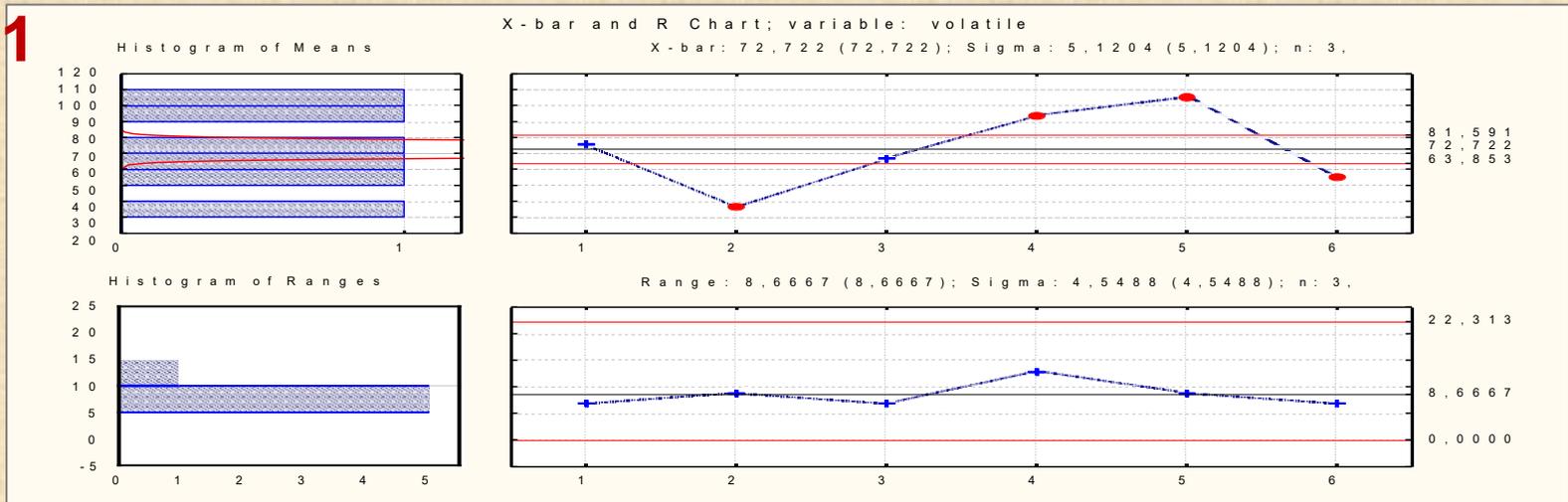
lab	comp	volatile															
Lab1	A	79	Lab2	A	69	Lab3	A	104	Lab4	A	63	Lab5	A	63	Lab6	A	38
Lab1	A	78	Lab2	A	70	Lab3	A	88	Lab4	A	69	Lab5	A	72	Lab6	A	49
Lab1	A	72	Lab2	A	61	Lab3	A	55	Lab4	A	88	Lab5	A	65	Lab6	A	52
Lab1	B	37	Lab2	B	34	Lab3	B	53	Lab4	B	49	Lab5	B	33	Lab6	B	57
Lab1	B	32	Lab2	B	33	Lab3	B	43	Lab4	B	50	Lab5	B	35	Lab6	B	49
Lab1	B	41	Lab2	B	37	Lab3	B	37	Lab4	B	49	Lab5	B	33	Lab6	B	54
Lab1	C	70	Lab2	C	60	Lab3	C	56	Lab4	C	65	Lab5	C	62	Lab6	C	58
Lab1	C	70	Lab2	C	56	Lab3	C	58	Lab4	C	80	Lab5	C	61	Lab6	C	57
Lab1	C	63	Lab2	C	58	Lab3	C	63	Lab4	C	70	Lab5	C	59	Lab6	C	48
Lab1	D	88	Lab2	D	86	Lab3	D	59	Lab4	D	60	Lab5	D	90	Lab6	D	28
Lab1	D	101	Lab2	D	84	Lab3	D	55	Lab4	D	62	Lab5	D	91	Lab6	D	37
Lab1	D	94	Lab2	D	85	Lab3	D	75	Lab4	D	62	Lab5	D	87	Lab6	D	24
Lab1	E	102	Lab2	E	99	Lab3	E	83	Lab4	E	94	Lab5	E	126	Lab6	E	34
Lab1	E	103	Lab2	E	99	Lab3	E	85	Lab4	E	92	Lab5	E	125	Lab6	E	39
Lab1	E	111	Lab2	E	98	Lab3	E	61	Lab4	E	91	Lab5	E	119	Lab6	E	36
Lab1	F	59	Lab2	F	50	Lab3	F	60	Lab4	F	64	Lab5	F	54	Lab6	F	51
Lab1	F	57	Lab2	F	51	Lab3	F	51	Lab4	F	69	Lab5	F	51	Lab6	F	46
Lab1	F	52	Lab2	F	48	Lab3	F	49	Lab4	F	68	Lab5	F	55	Lab6	F	53

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

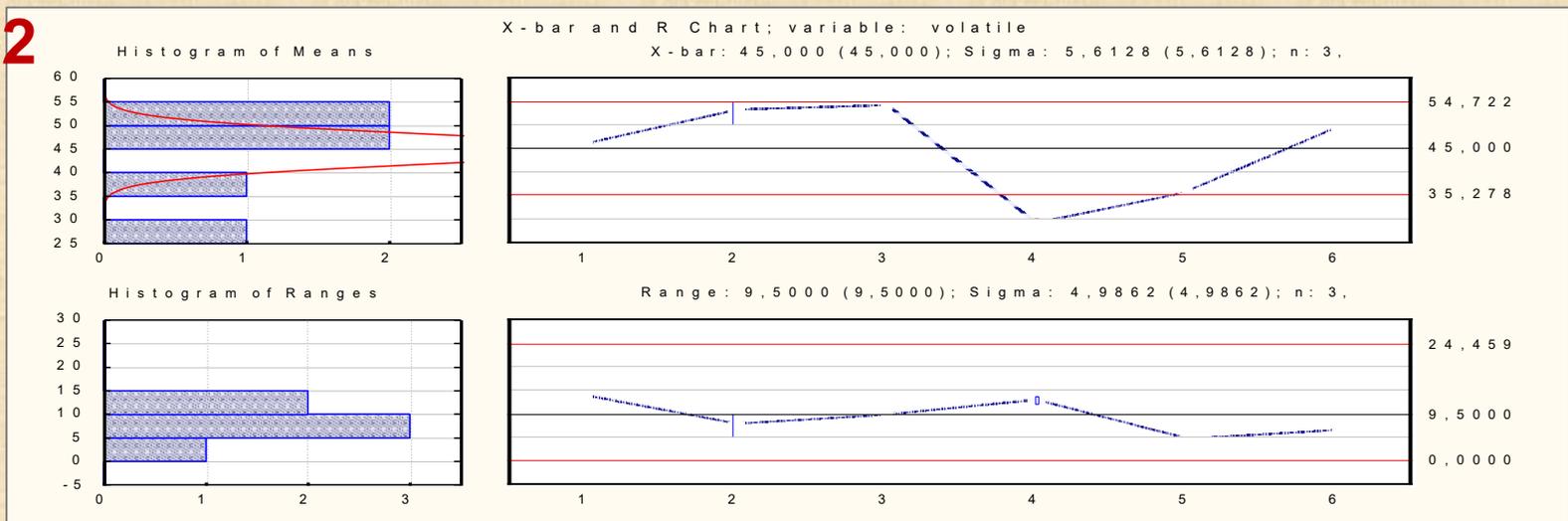
L'objectif est de comparer la performance de 5 nouveaux laboratoires avec le laboratoire de référence usuel (Lab2). Le lab6 correspond au nouveau laboratoire interne que la compagnie voulait établir. Le test est compliqué.

D'où l'étude à la ronde. Analyse? Une carte Xbar&R par laboratoire.

Lab1

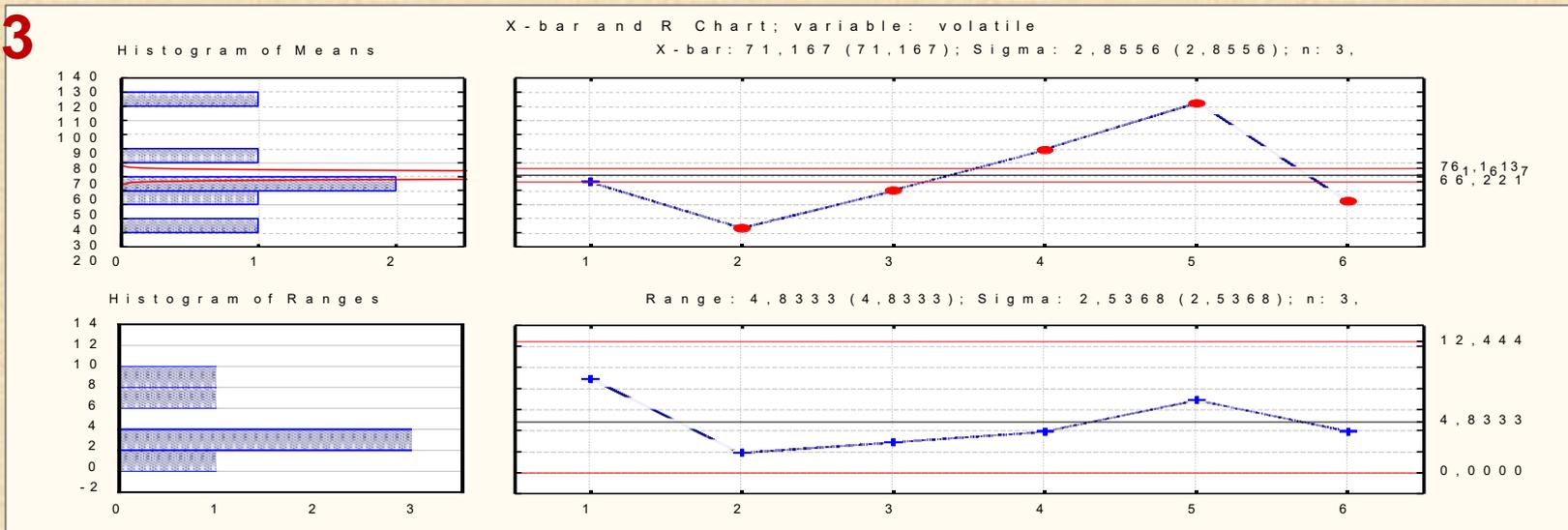


Lab2

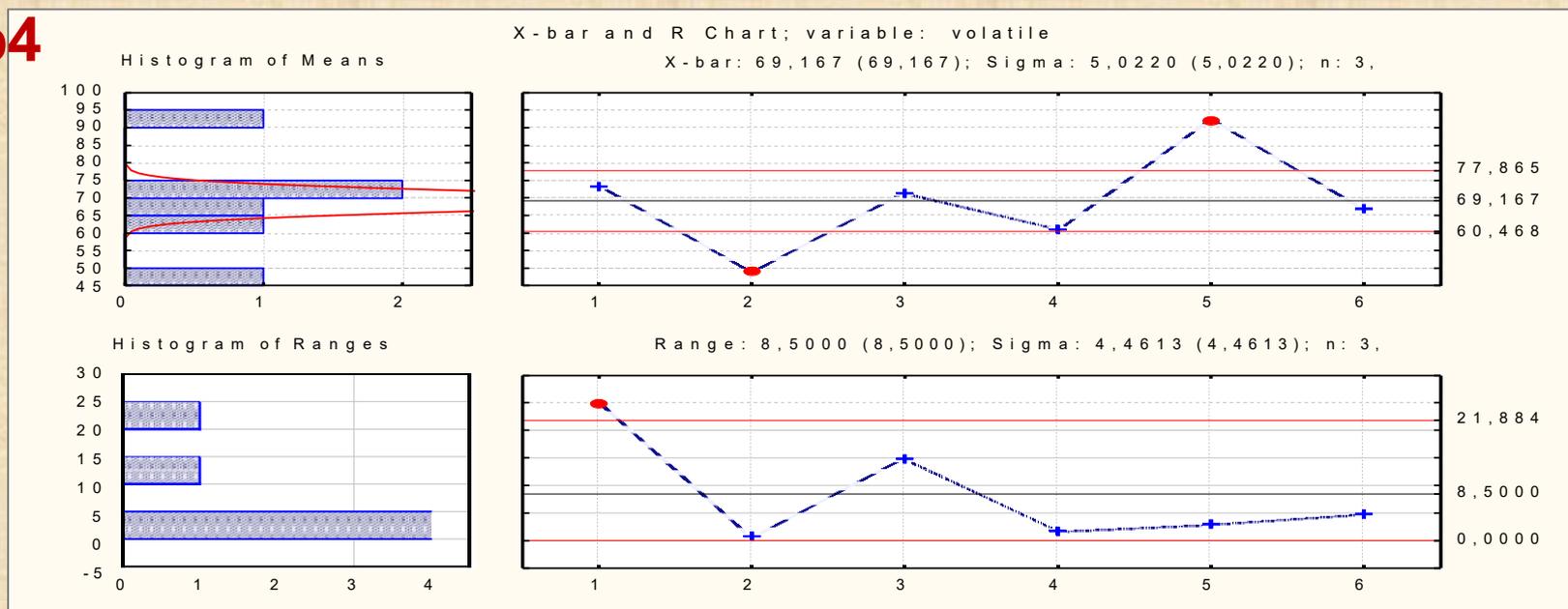


ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Lab3

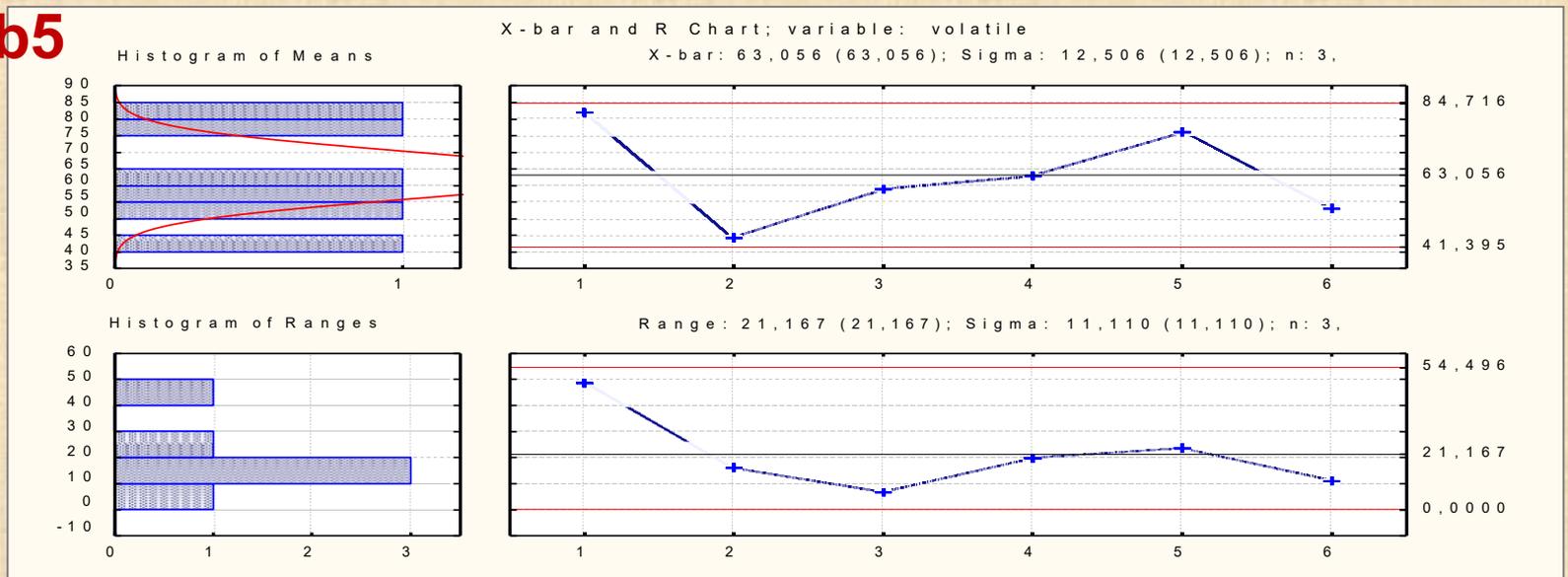


Lab4

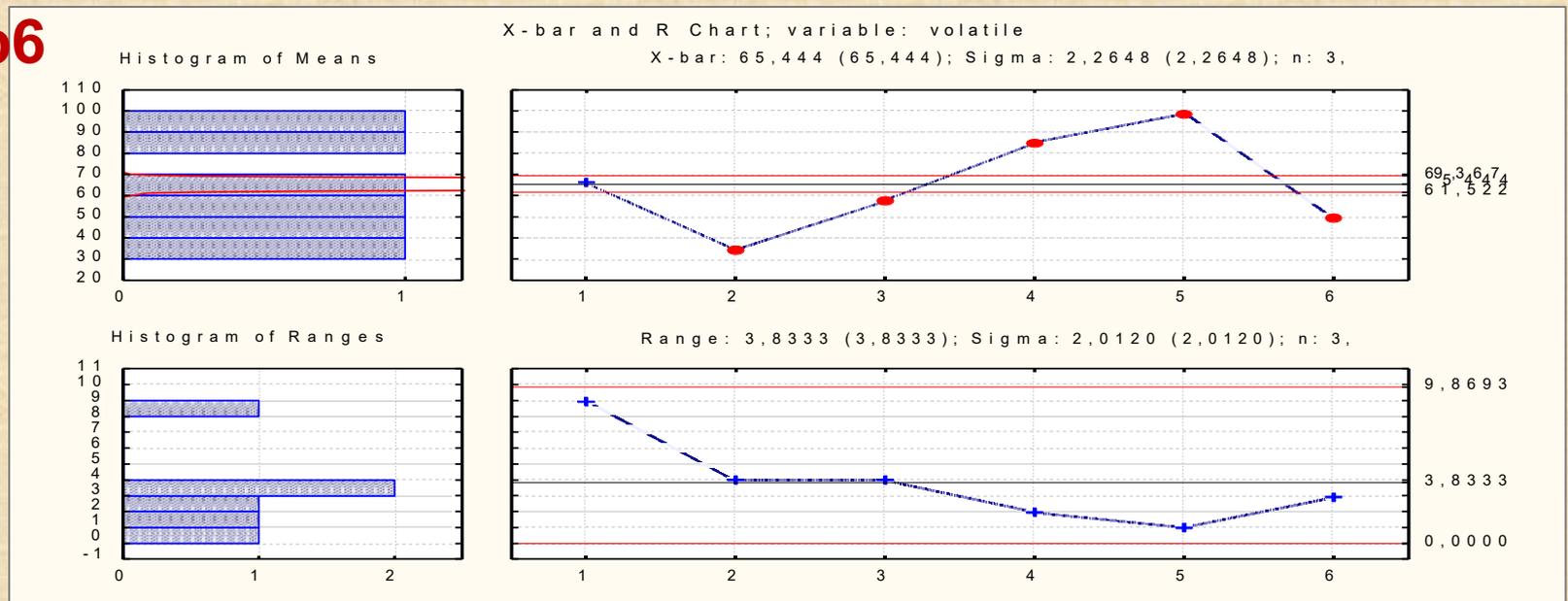


ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

Lab5



Lab6



ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE FACTEURS

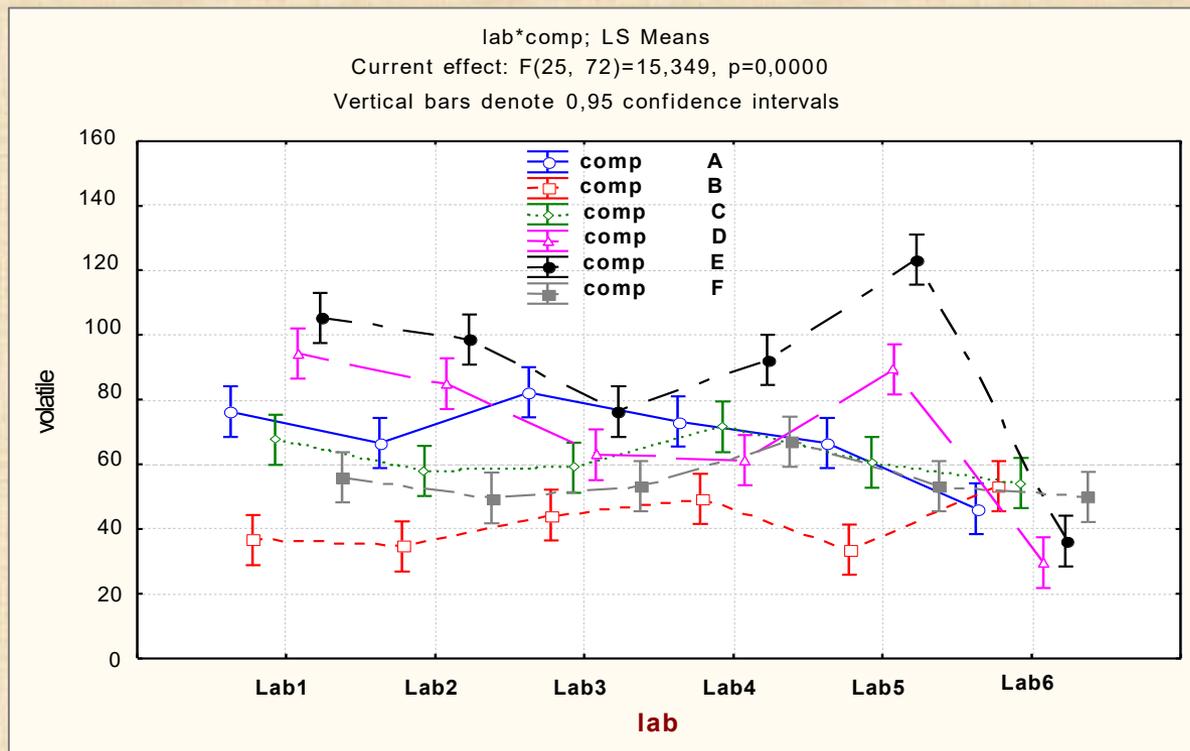
Conclusion basée sur une étude détaillée de 6 cartes Xbar&R

- calcul de σ_{ep}
- calcul de \bar{X} sur les 6 produits
- calcul du biais par rapport au laboratoire Lab2
- calcul du coefficient intra classe r_{ep} (même si on a 6 produits distincts)

(même si on a 6 produits distincts)

montre: aucun de 5 nouveaux laboratoires incluant le laboratoire interne (Lab6) avait l'expertise nécessaire pour performer ce test compliqué.

Les données peuvent aussi être analysées avec une ANOVA à 2 facteurs croisés (lab, comp) et 3 répétitions

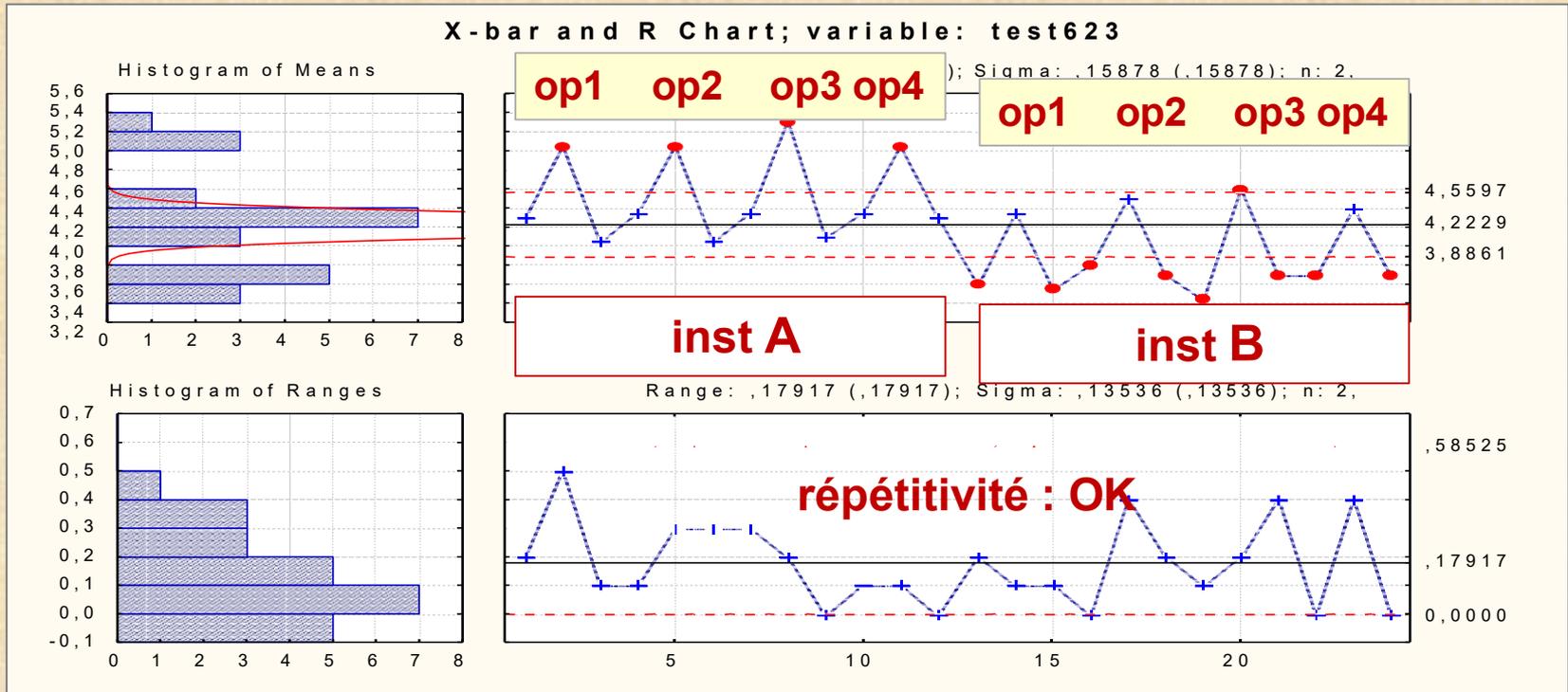


ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS

Exemple 22: méthode test 623 – o = 4 opérateurs d = 2 instruments A et B
opérateur croisé avec instrument
p = 3 pièces (lot) n = 2 répétitions
mesure = dimension (unité=micron)

instrument	oper	batch	inXopXba (group)	rep	test623	instrument	oper	batch	inXopXba (group)	rep	test623
inst A	op1	b1	A1b1	1	4,2	inst B	op1	b1	B1b1	1	3,5
inst A	op1	b1	A1b1	2	4,4	inst B	op1	b1	B1b1	2	3,7
inst A	op1	b2	A1b2	1	5,3	inst B	op1	b2	B1b2	1	4,4
inst A	op1	b2	A1b2	2	4,8	inst B	op1	b2	B1b2	2	4,3
inst A	op1	b3	A1b3	1	4,0	inst B	op1	b3	B1b3	1	3,6
inst A	op1	b3	A1b3	2	4,1	inst B	op1	b3	B1b3	2	3,5
inst A	oo2	b1	A2b1	1	4,3	inst B	oo2	b1	B2b1	1	3,8
inst A	op2	b1	A2b1	2	4,4	inst B	op2	b1	B2b1	2	3,8
inst A	op2	b2	A2b2	1	5,2	inst B	op2	b2	B2b2	1	4,7
inst A	op2	b2	A2b2	2	4,9	inst B	op2	b2	B2b2	2	4,3
inst A	op2	b3	A2b3	1	3,9	inst B	op2	b3	B2b3	1	3,8
inst A	op2	b3	A2b3	2	4,2	inst B	op2	b3	B2b3	2	3,6
inst A	op3	b1	A3b1	1	4,5	inst B	op3	b1	B3b1	1	3,5
inst A	op3	b1	A3b1	2	4,2	inst B	op3	b1	B3b1	2	3,4
inst A	op3	b2	A3b2	1	5,2	inst B	op3	b2	B3b2	1	4,7
inst A	op3	b2	A3b2	2	5,4	inst B	op3	b2	B3b2	2	4,5
inst A	op3	b3	A3b3	1	4,1	inst B	op3	b3	B3b3	1	3,5
inst A	op3	b3	A3b3	2	4,1	inst B	op3	b3	B3b3	2	3,9
inst A	op4	B1	A4b1	1	4,4	inst B	op4	b1	B4b1	1	3,7
inst A	op4	b1	A4b1	2	4,3	inst B	op4	b1	B4b1	2	3,7
inst A	op4	b2	A4b2	1	5,0	inst B	op4	b2	B4b2	1	4,6
inst A	op4	b2	A4b2	2	5,1	inst B	op4	b2	B4b2	2	4,2
inst A	op4	b3	A4b3	1	4,3	inst B	op4	b3	B4b3	1	3,7
inst A	op4	b3	A4b3	2	4,3	inst B	op4	b3	B4b3	2	3,7

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS

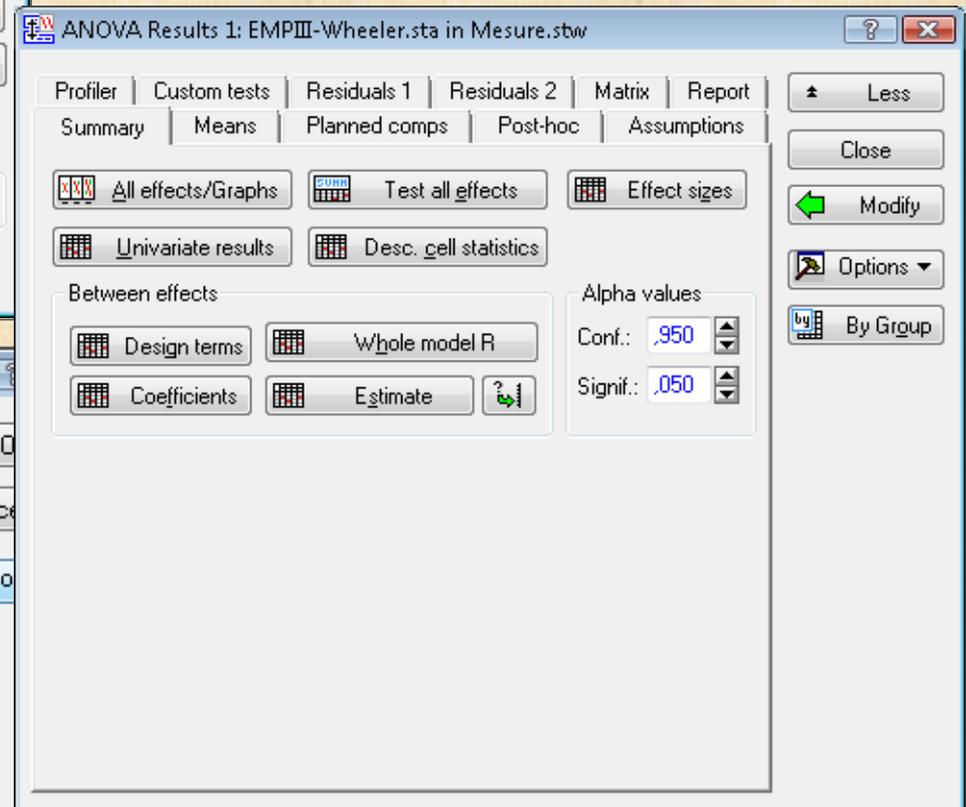
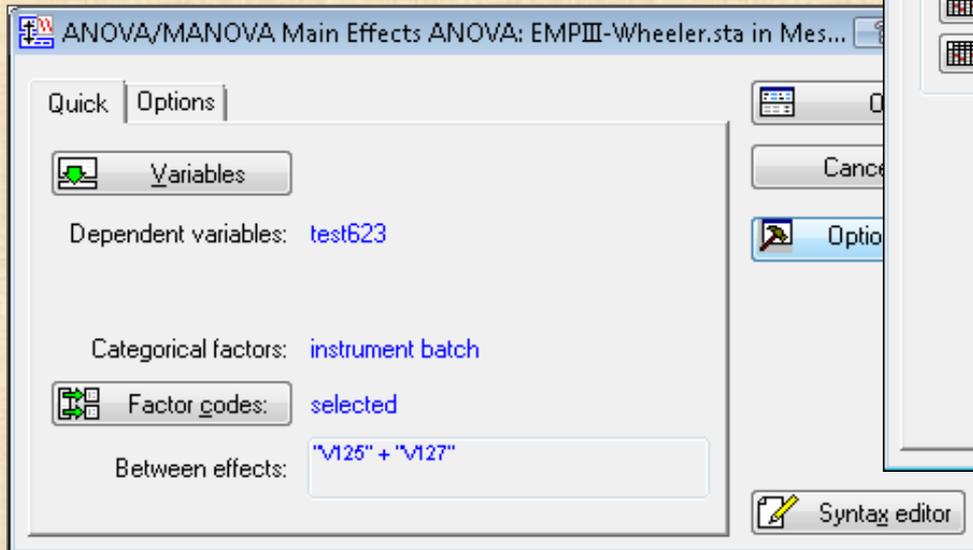
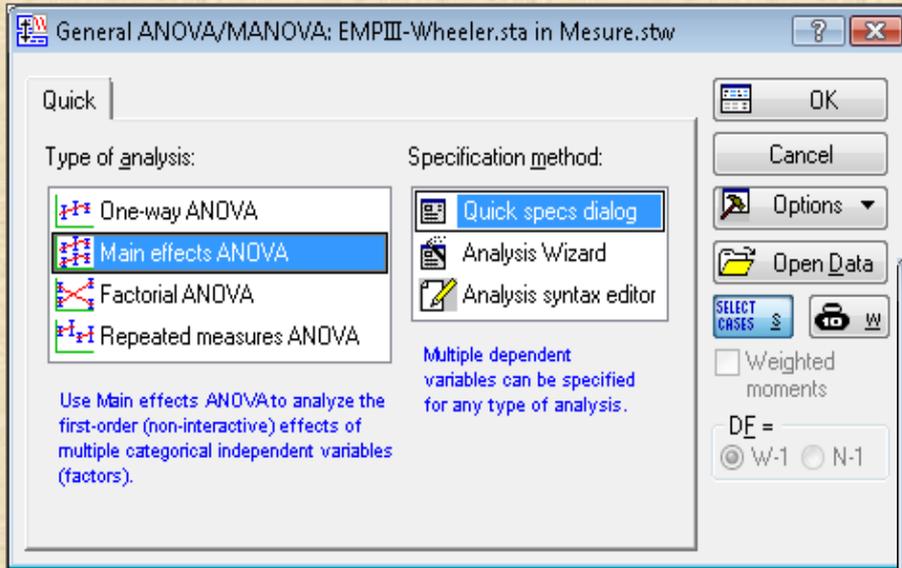


- répétitivité OK
- biais entre les 2 instruments
- effet opérateur négligeable
- $\sigma_{ep}^2 = 0,0252 = (0,1589)^2$ $\sigma_p^2 = 0,2397 = (0,4896)^2$
- $\sigma_d^2 = 0,1814 = (0,4259)^2$
- $r_{ep} = 0,2397 / (0,2397 + 0,0252) = 0,905$
- $r_d = 0,2397 / (0,2397 + 0,0252 + 0,1814) = 0,537$

**confirmation
avec
ANOVA
et
VEPAC**

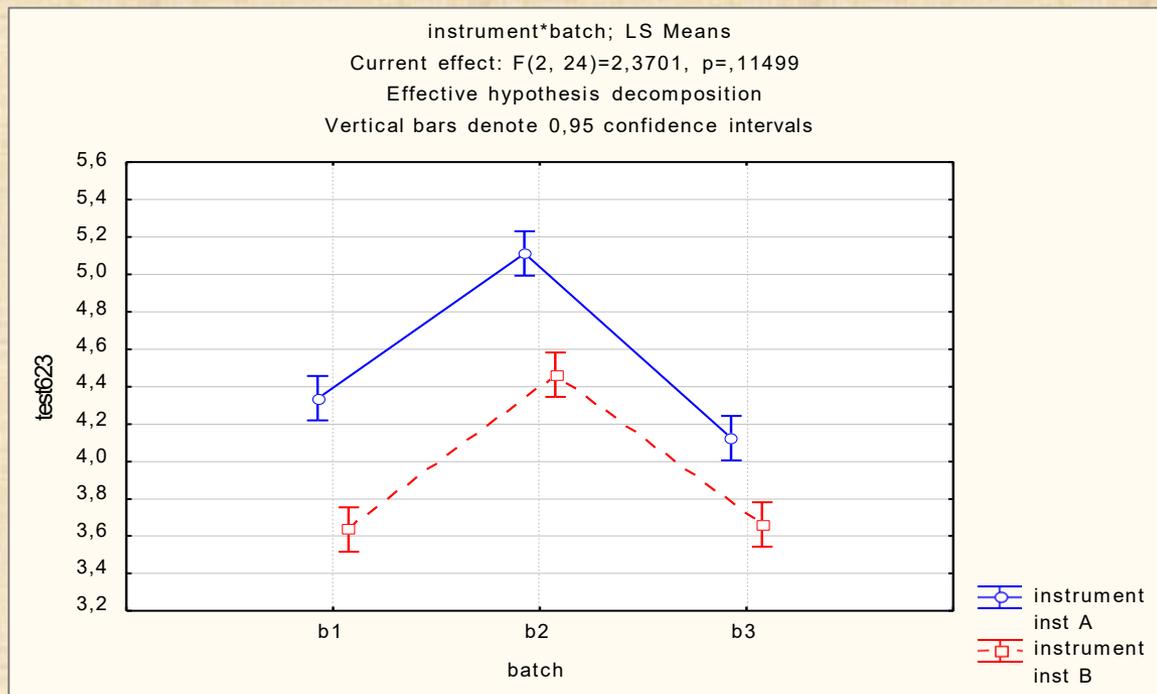
ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS

ANOVA à effet principaux : instrument + batch



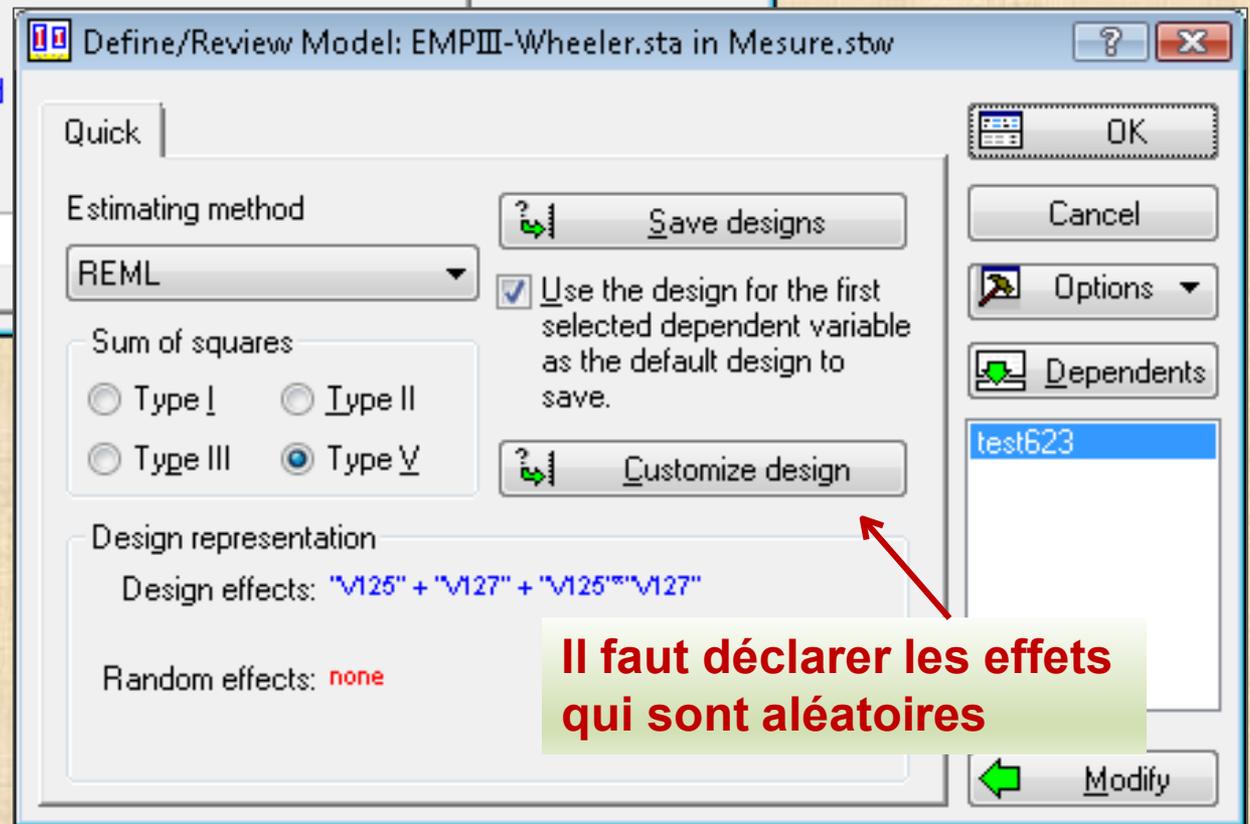
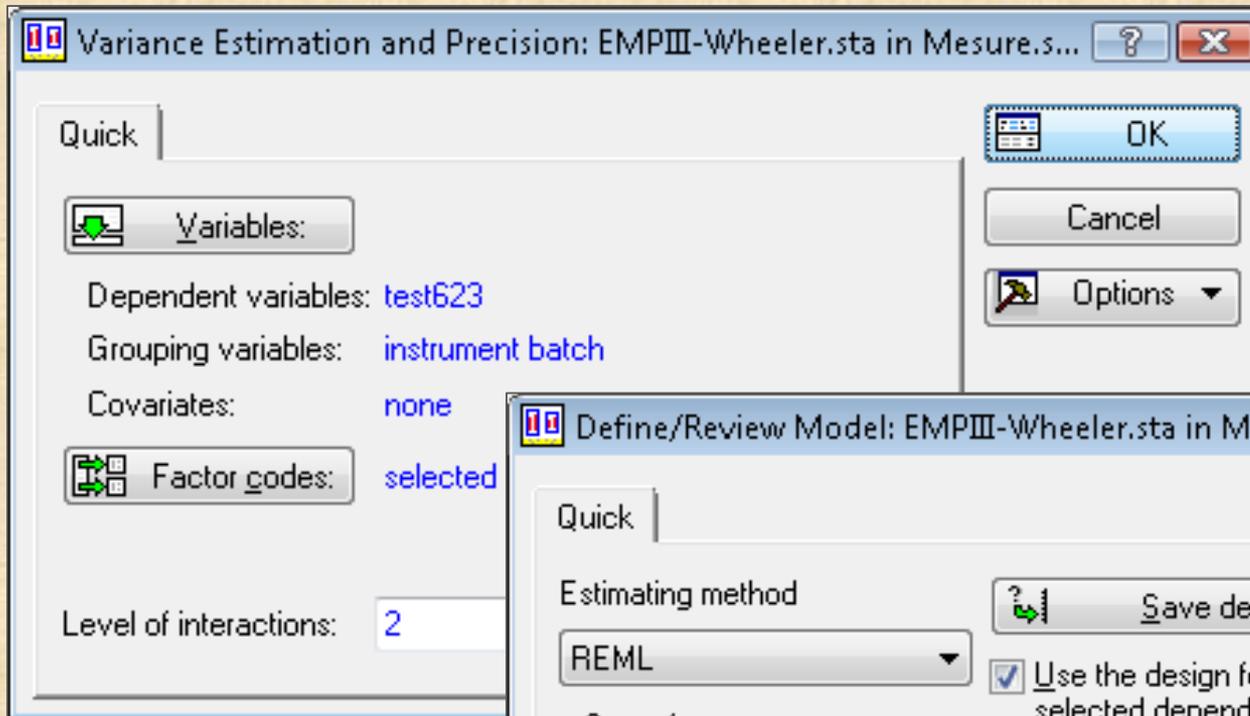
ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS

Source	Degr. Of Freedom	test623 SS	Test623 MS	Test623 F	Test623 p
Intercept	1	855,9852	855,9852	31805,78	0,000000
instrument	1	4,3802	4,3802	162,76	0,000000
batch	2	7,7204	3,8602	143,43	0,000000
Error	44	1,1842	0,0269		
Total	47	13,2848			



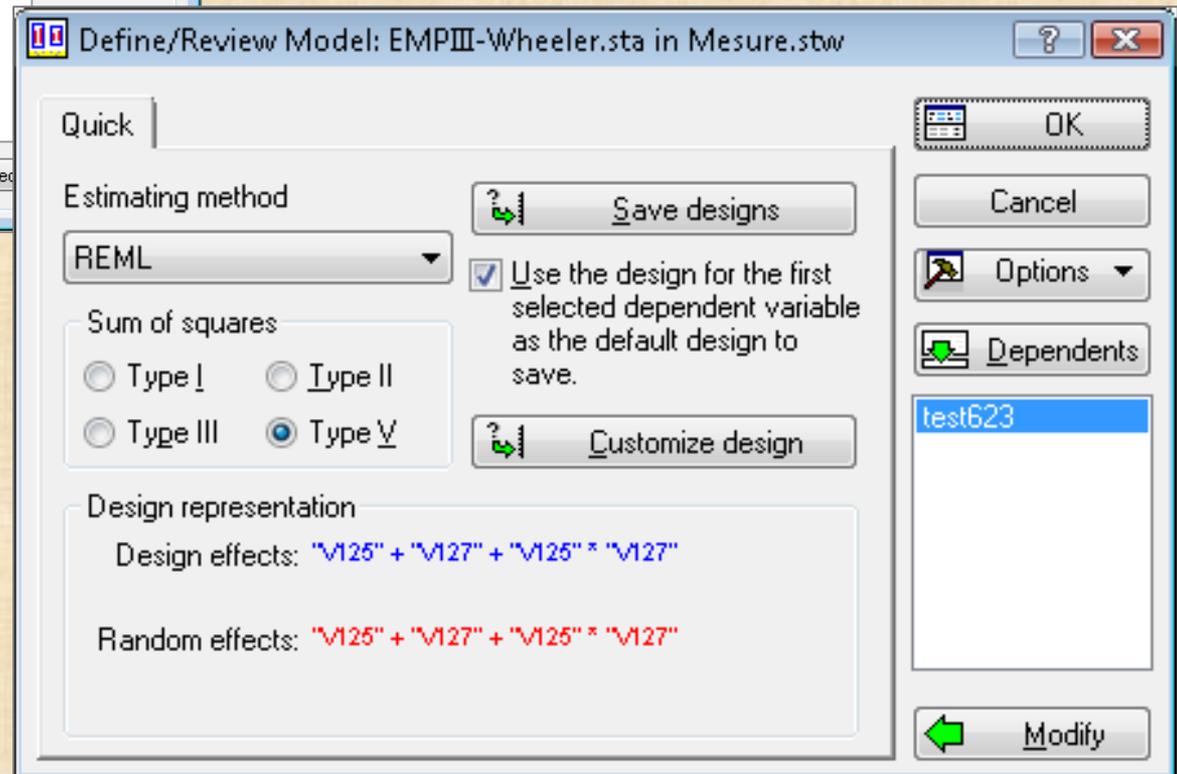
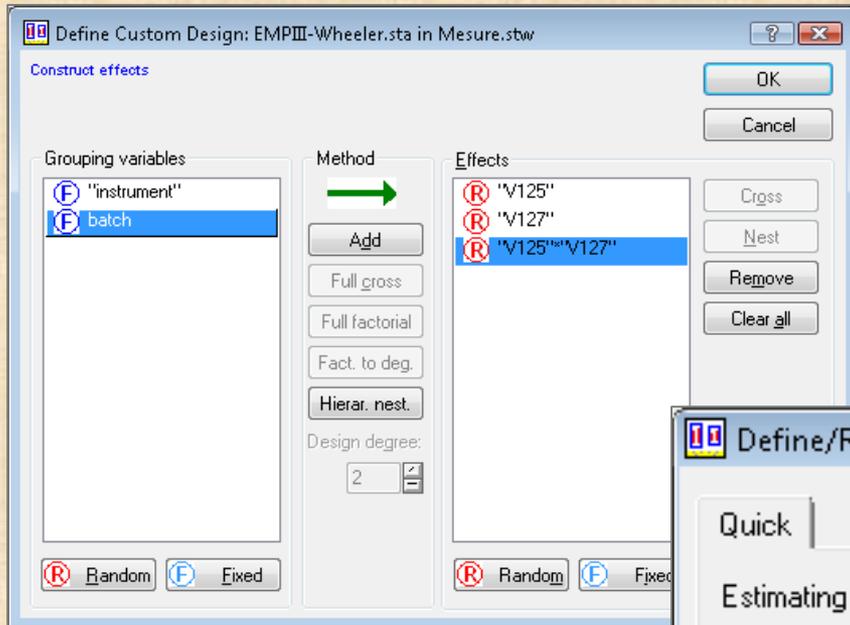
**Pour obtenir les
Composantes
de la variance
il faut employer
le module VEPAC**

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS



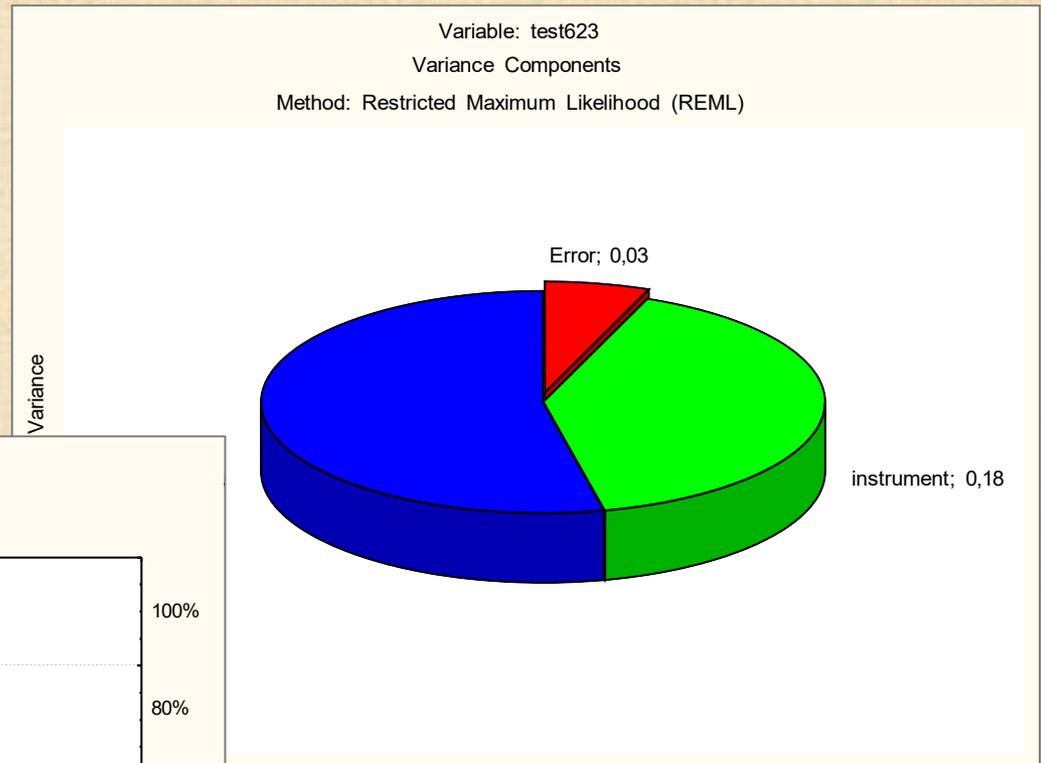
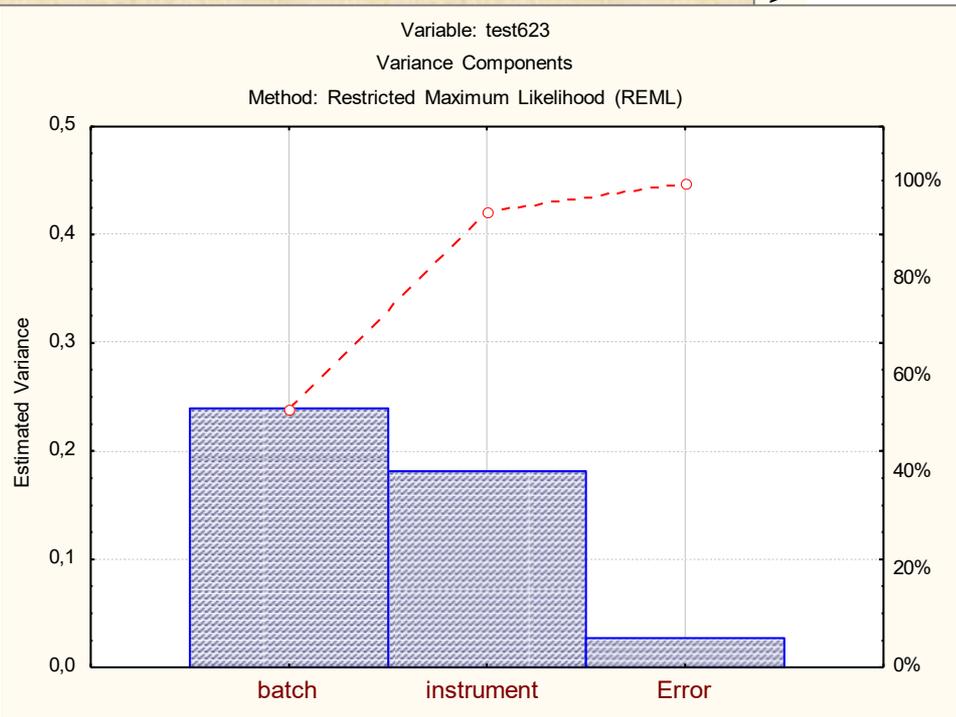
Il faut déclarer les effets qui sont aléatoires

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS

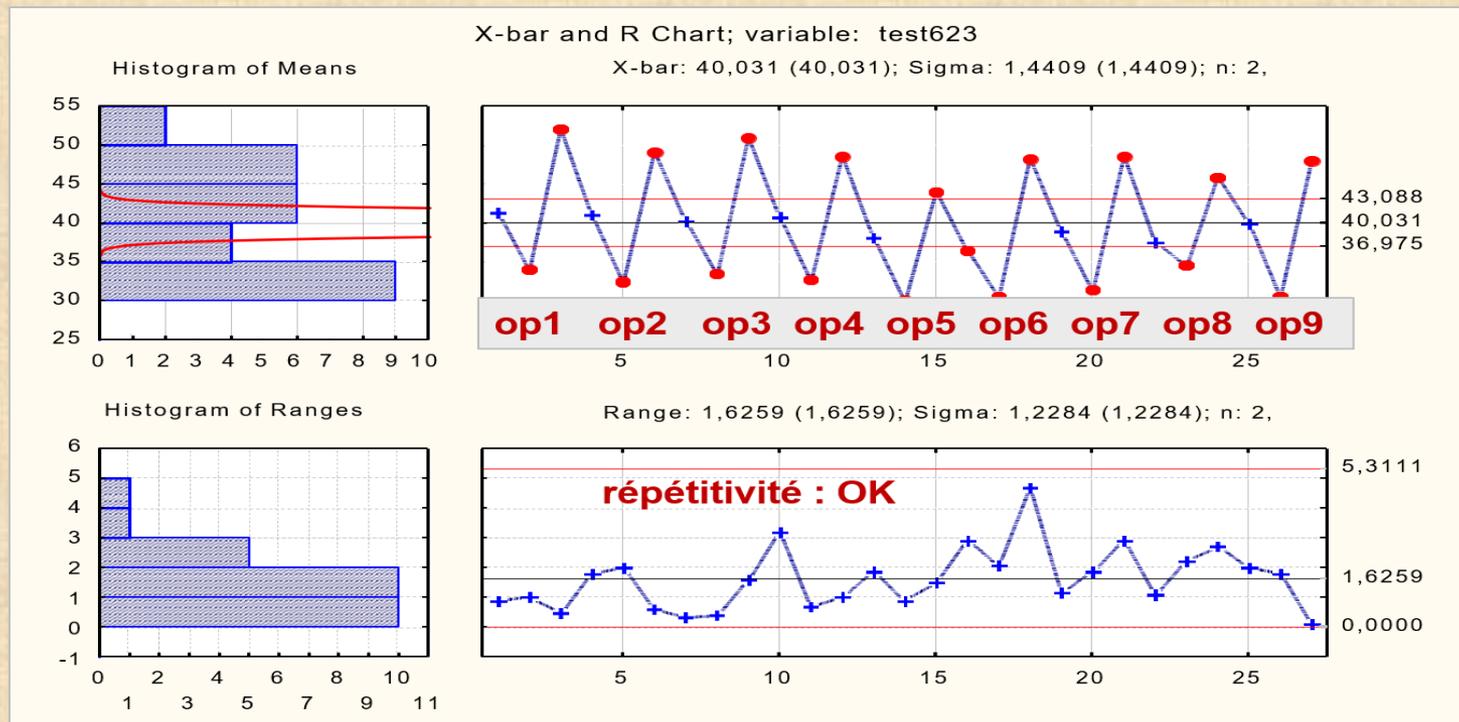


ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS

	Variance test623
instrument	0,181387
batch	0,239581
Error	0,026913



ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS emboîtés



Autres analyses possibles avec Exemple 23

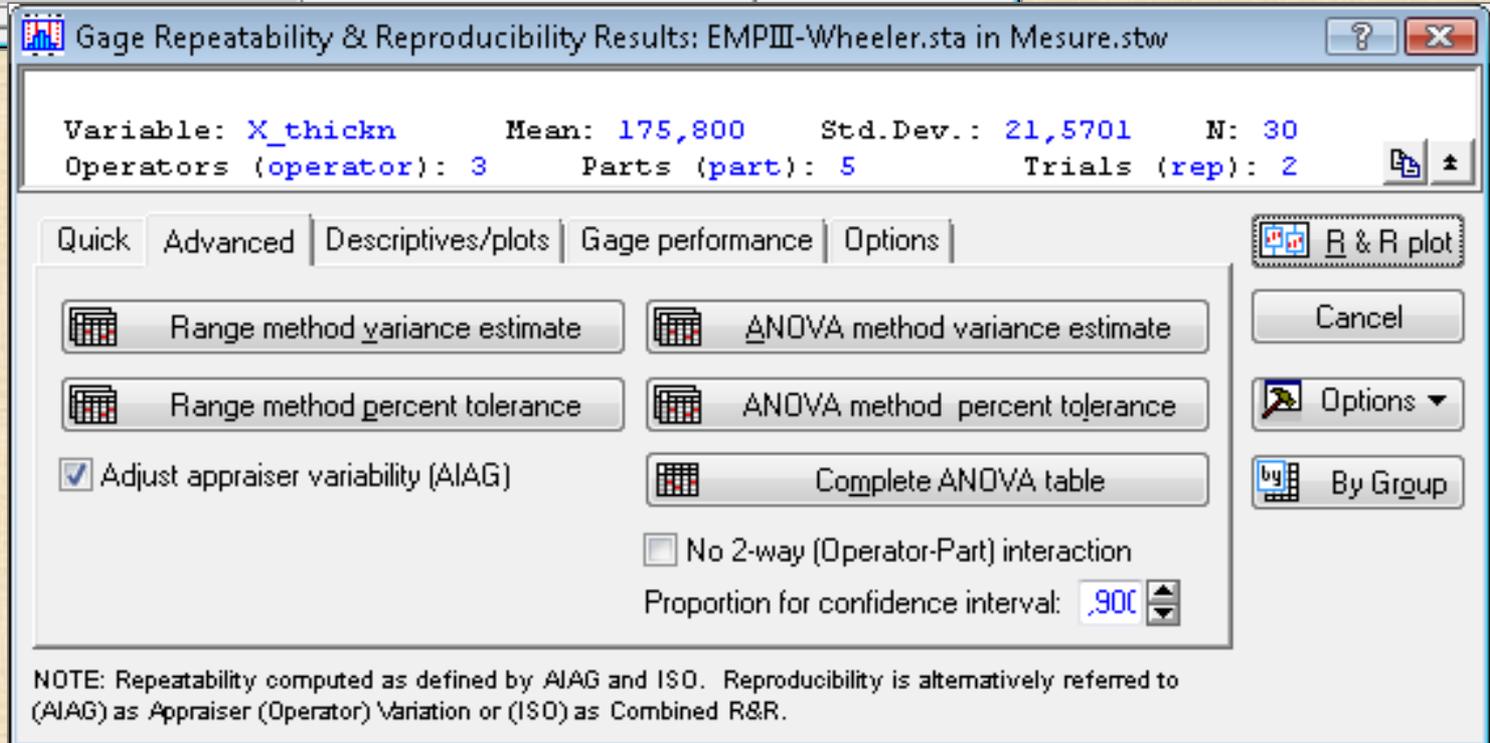
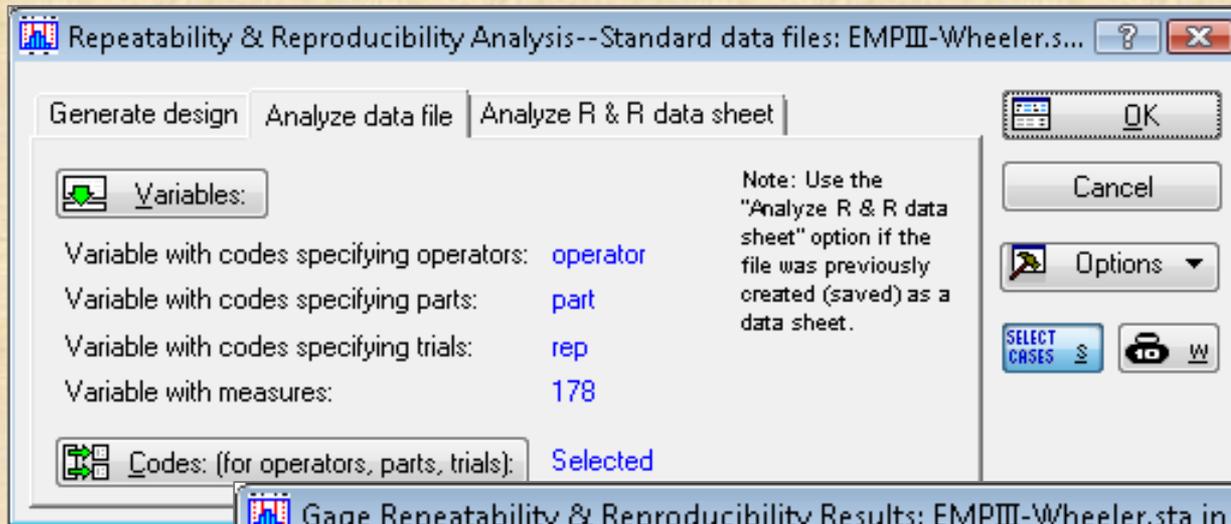
- comparaison des moyennes des opérateurs à l'intérieur de chaque site
- comparaison des étendues des opérateurs à l'intérieur de chaque site
- comparaison des moyennes des sites
- comparaison de l'erreur pure inter sites
- calcul coefficient intra classe

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS

Exemple 24: méthode test 623 – o = 3 opérateurs p = 5 pièces n = 2 répétitions
mesure = épaisseur joint d'étanchéité = Y_tickness

Operator	part	group	rep	Y_thickness
oA	p1	Ap1	1	167
oA	p1	Ap1	2	162
oA	p2	Ap2	1	210
oA	p2	Ap2	2	213
oA	p3	Ap3	1	187
oA	p3	Ap3	2	183
oA	p4	Ap4	1	189
oA	p4	Ap4	2	196
oA	p5	Ap5	1	156
oA	p5	Ap5	2	147
oB	p1	Bp1	1	155
oB	p1	Bp1	2	157
oB	p2	Bp2	1	206
oB	p2	Bp2	2	199
oB	p3	Bp3	1	182
oB	p3	Bp3	2	179
oB	p4	Bp4	1	184
oB	p4	Bp4	2	178
oB	p5	Bp5	1	143
oB	p5	Bp5	2	142
oC	p1	Cp1	1	152
oC	p1	Cp1	2	155
oC	p2	Cp2	1	206
oC	p2	Cp2	2	203
oC	p3	Cp3	1	180
oC	p3	Cp3	2	181
oC	p4	Cp4	1	180
oC	p4	Cp4	2	182
oC	p5	Cp5	1	146
oC	p5	Cp5	2	154

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS



ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE DE 2 FACTEURS

Variance Components; Variable: Y_thickness Mean=175,800 R-bar=4,26667 R(xbar)=8,50000 R(parts)=58,1667 Operators: 3 Parts: 5 Trials: 2				
	Estimate Sigma	Estimate Variance	% of - R & R	% of - Total
Repeatability	3,71	13,77	42,82	2,37
Reproducibility	4,29	18,40	57,18	3,16
Part-to-Part	23,44	549,55		94,47
Combined R & R	5,67	32,17	100,00	5,53
Total	24,12	581,72		100,00

coefficient corrélation intra classe = 549,55 / 581,72 = 0,94

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE

de 2 facteurs emboîtés car le test est destructif

	Part	Operator	Response
1	1	Steve	15,4257
2	1	Steve	16,8677
3	2	Steve	15,5018
4	2	Steve	15,1628
5	3	Steve	15,7251
6	3	Steve	12,8191
7	4	Steve	15,1429
8	4	Steve	13,8563
9	5	Steve	14,1119
10	5	Steve	16,5675
11	6	Billie	13,1025
12	6	Billie	15,5494
13	7	Billie	13,8316
14	7	Billie	14,2388
15	8	Billie	16,8403
16	8	Billie	14,325
17	9	Billie	15,1448
18	9	Billie	14,5478
19	10	Billie	16,3736
20	10	Billie	17,5779
21	11	Nathan	14,0156
22	11	Nathan	16,0597
23	12	Nathan	14,7948
24	12	Nathan	14,8448
25	13	Nathan	14,2155
26	13	Nathan	13,7057
27	14	Nathan	16,4566
28	14	Nathan	16,2174
29	15	Nathan	15,0697
30	15	Nathan	16,3231

Exemple 25: étude R&R avec test destructif
 o = 3 opérateurs p = 15 paires de pièces
 n = 2 pseudo répétitions
 mesure = Response

facteur pièce est emboîté dans facteur opérateur

Opérateur Steve Billie Nathan
 Pièce p1 p2 p3 p4 p5 p6 p7 p8 p9 p10 p11 p12 p13 p14 p15

Source	df	Resp SS	Resp MS	Resp F	Resp p
Intercept	1	6883,11	6883,11	5338,5	0,0000
Part(Operator)	12	22,05	1,84	1,425	0,2551
Operator	2	0,014	0,007	0,005	0,9945
Error	15	19,34	1,289		
Total	29	41,41			

ÉVALUATION PROCESSUS MESURE EN PRÉSENCE
de 2 facteurs emboîtés car test destructif

Gage R&R

Analyse avec Minitab

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	1,28933	82,46
Repeatability	1,28933	82,46
Reproducibility	0,00000	0,00
Part-To-Part	0,27430	17,54
Total Variation	1,56364	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1,13549	6,81293	90,81
Repeatability	1,13549	6,81293	90,81
Reproducibility	0,00000	0,00000	0,00
Part-To-Part	0,52374	3,14243	41,88
Total Variation	1,25045	7,50273	100,00