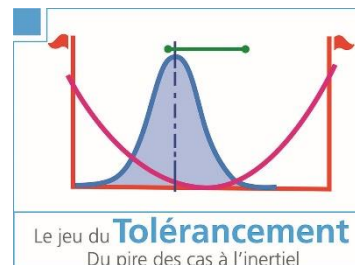
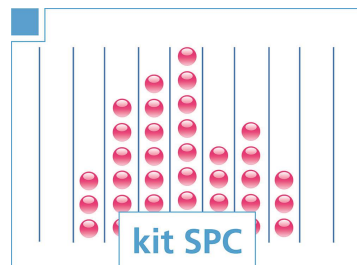
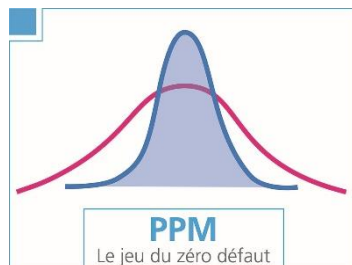
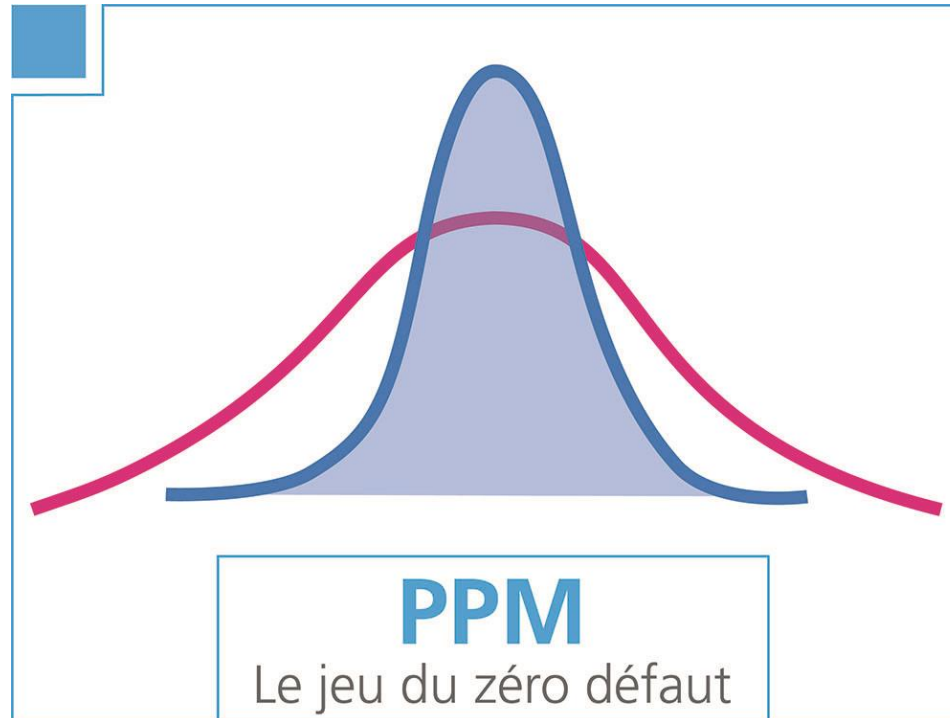


Une collection de 4 jeux sur la Maîtrise des Procédés



	→ Réduire la variabilité	→ Mettre en place les cartes de contrôle	→ Savoir mettre en œuvre les modes de tolérancement	→ Mettre en œuvre les plans d'expérience Taguchi
Objectif	<p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> Apprendre à maîtriser les procédés de fabrication Savoir utiliser les statistiques correspondantes 	<p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> Réaliser un suivi de fabrication Calculer une moyenne, une étendue, un écart-type Décrire une loi normale Réaliser un prélèvement Mettre un process sous surveillance Construire les cartes de contrôles Supprimer les causes assignables Calculer la capacité 	<p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> Décrire les modes de tolérancement : au Pire des cas, Statistique, Inertiel Prendre conscience des spécificités de chaque mode de tolérancement Mettre en place le Tolérancement Inertiel (calcul d'inertie) Hiérarchiser les caractéristiques Faire le lien entre tolérancement et impacts sur la production 	<p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> Découvrir une démarche expérimentale pour optimiser les performances d'un produit ou d'un processus Comprendre l'intérêt des Plans d'expérience et les mettre en œuvre selon la méthode TAGUCHI
Public	Public : tout public	Public : tout public	Public : tout public	Public : tout public
Durée	1 jour	1 jour	1 jour	1 jour
Principaux concepts	Maîtrise des procédés, Variabilité, Cause de dérives, Standardisation, Loi normale, Dispersion, 6 sigma, Capacité des moyens de mesures, Test R&R, Cartes de contrôle, PPM (Partie Par Million), Tolérances.	Histogramme d'une fabrication, Moyenne, Dispersion, Etendue, Ecart-type, Loi Normale, Echantillon, Carte de contrôle, Limites de contrôle, Causes assignables, Causes communes, Capacité, MSP	Conformité, 6 sigma, Dispersion, Décentrage, Tolérancements, Caractéristiques, Capacités de production, Inertie, Conception fabricable, Simulation Monte Carlo, Triangle de conformité δ/σ	Facteurs influents, Effet d'un facteur, Modalités, Table orthogonale, Interactions, Plan complet et fractionnaire, Tables de Taguchi, Variance, Robustesse, Fonction Perte de Qualité, Ratio Signal / Bruit, Plan produit
En savoir +	Voir en page 2 , et aussi sur : info@cipe.fr - www.cipe.fr	Voir en page 43 , et aussi sur : info@cipe.fr - www.cipe.fr	Voir en page 53 , et aussi sur : info@cipe.fr - www.cipe.fr	Voir en page 135 , et aussi sur : info@cipe.fr - www.cipe.fr



Une simulation concrète de découverte de la maîtrise des procédés
et des règles statistiques de base

PPM, Le Jeu du Zéro Défaut® a été développé pour le CIPE par **Maurice Pillet**,
Professeur à l'Université de Savoie

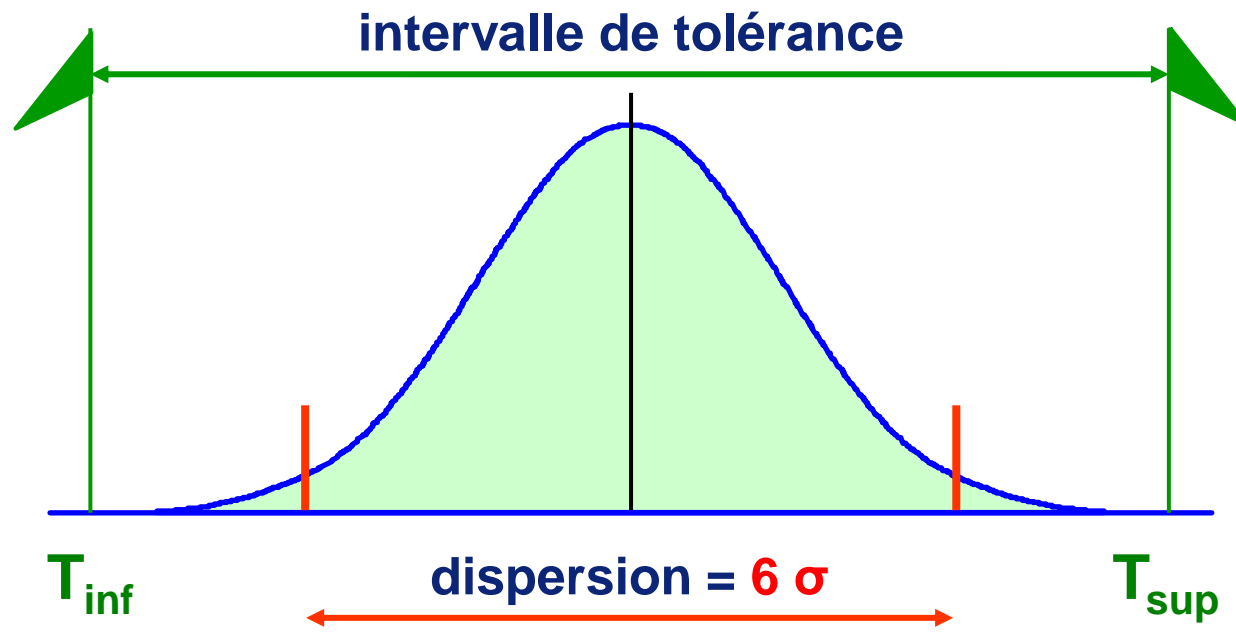


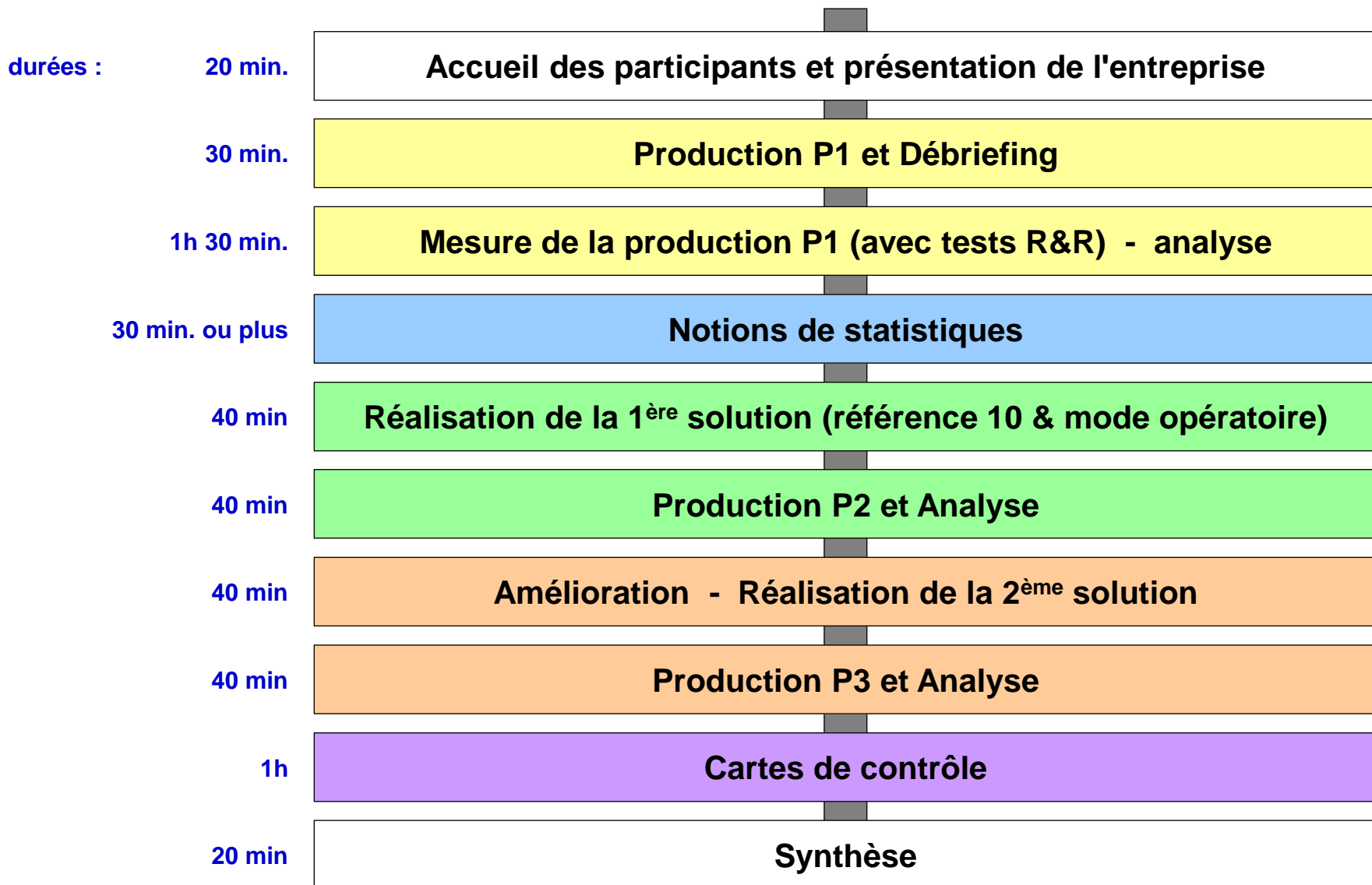
- Public concerné :
 - Cadres, Encadrement, Opérationnels
 - Peu de connaissances préalables requises
- Taille du groupe : entre 8 et 20 personnes répartis en 4 équipes



- Entre 6 h et 10 h suivant l'importance des apports pédagogiques.
 - Fractionnement possible en plusieurs séances de 1 h 30 ou 2 h.

- Objectifs :
 - Apprendre à maîtriser les procédés de fabrication
 - Savoir utiliser les statistiques correspondantes

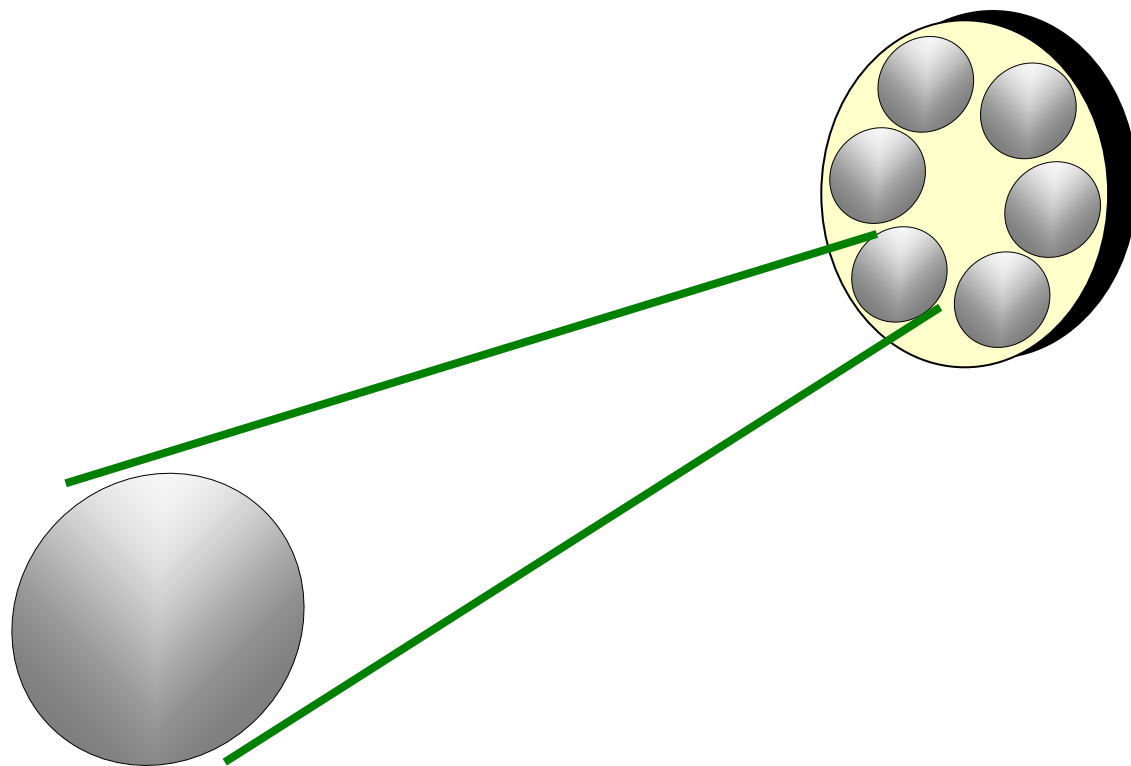


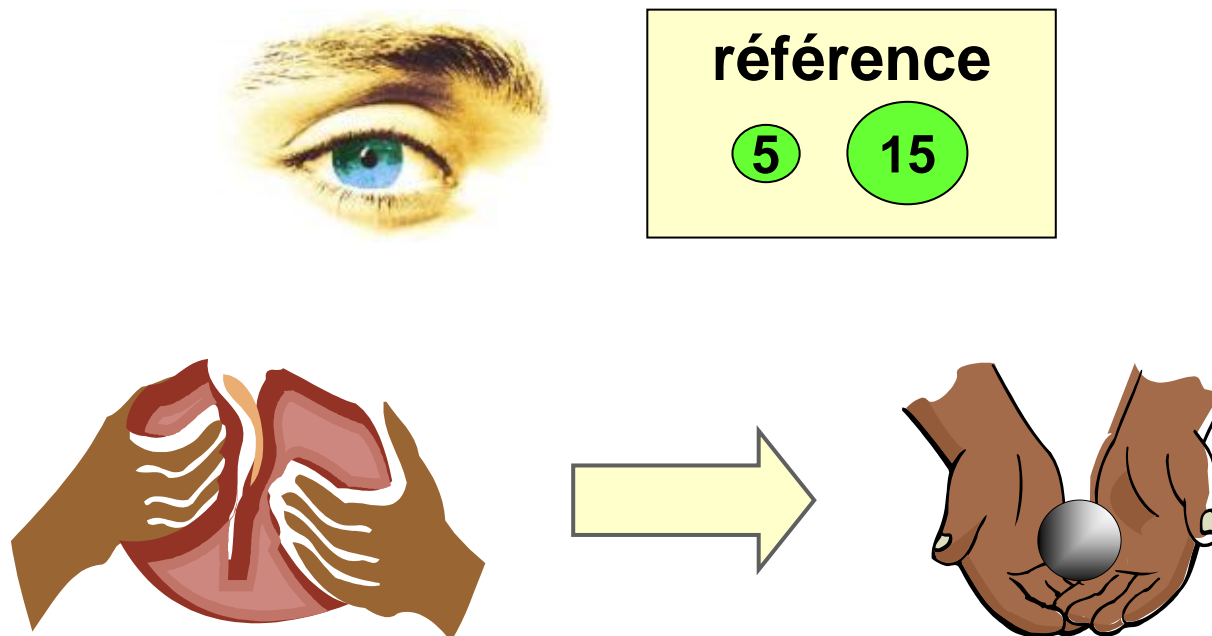


Total : 6h50

- Boules de pâte à modeler :

10 gr +/- 5 gr

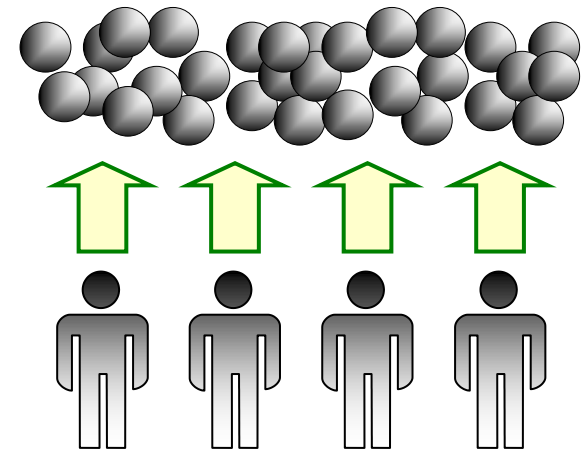




- Distribution de la pâte à modeler



- Chaque équipe fabrique **30 boules**

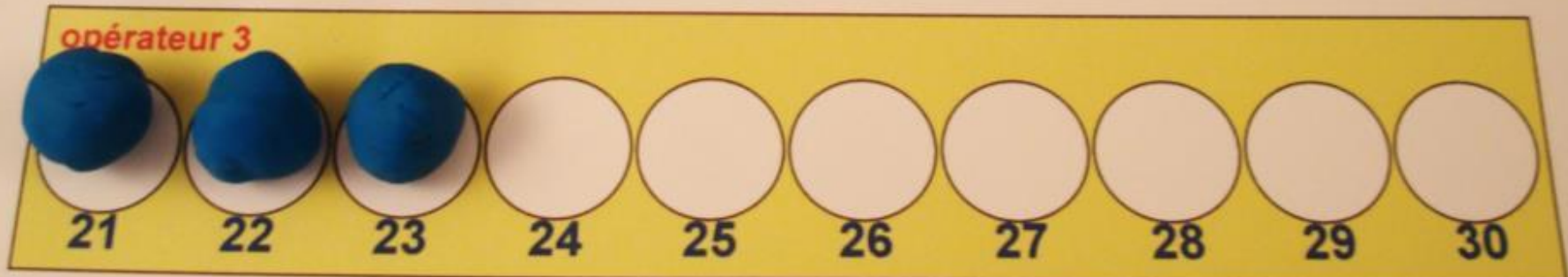
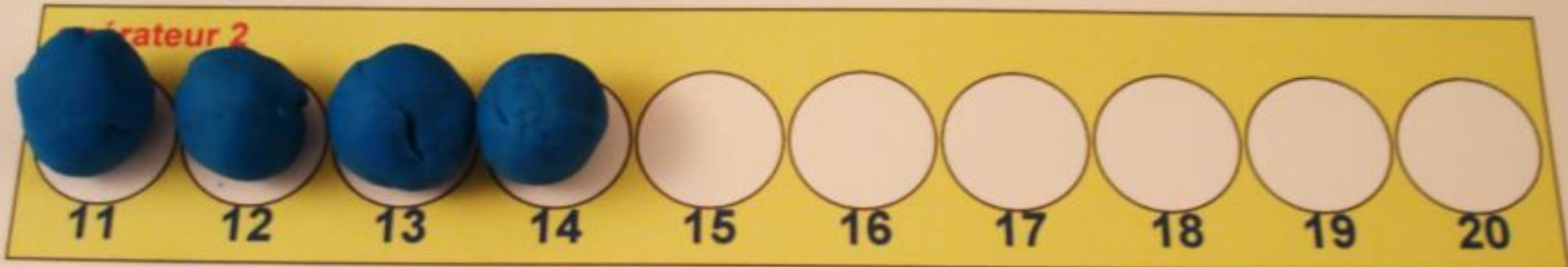
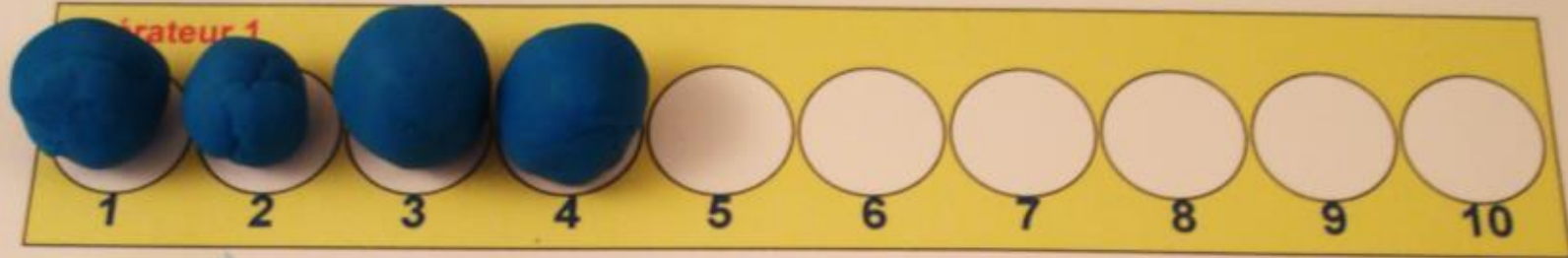


- Tout le monde produit

- Ranger la production :

RANGEMENT DE LA PRODUCTION - 4 opérateurs								
opérateur 1	1	2	3	4	5	6	7	8
opérateur 2	9	10	11	12	13	14	15	16
opérateur 3	17	18	19	20	21	22	23	24
opérateur 4	25	26	27	28	29	30		

RANGEMENT DE LA PRODUCTION - 3 opérateurs





- Malgré le soin apporté à la production, il y a actuellement de nombreuses insatisfactions des clients concernant la fiabilité des xylérateurs. La non qualité vient principalement d'un mauvais équilibrage : cela crée des casses des axes.
- Les responsables du secteur perdent beaucoup de temps à décider si on peut déroger les produits, à mettre en place des solutions provisoires qui s'avèrent toutes inefficaces.
- Les conséquences en terme de pertes sont de l'ordre de 100.000 euros par an (soit 3% du CA).

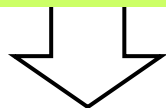
- Moyen dont dispose l'entreprise, et sur lequel on a des doutes :
balance électronique "TEFAL OASIS 3"
- Chaque équipe pèse 3 boules



- Comment s'assurer qu'un moyen de mesure est fiable ?



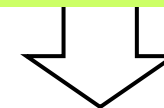
Répétabilité



**fiabilité de mesures effectuées
par un même opérateur
sur une même pièce**

**écarts principalement
dus au matériel**

Reproductibilité



**fiabilité de mesures effectuées
par différents opérateurs
sur une même pièce**

**écarts principalement
dus aux opérateurs**

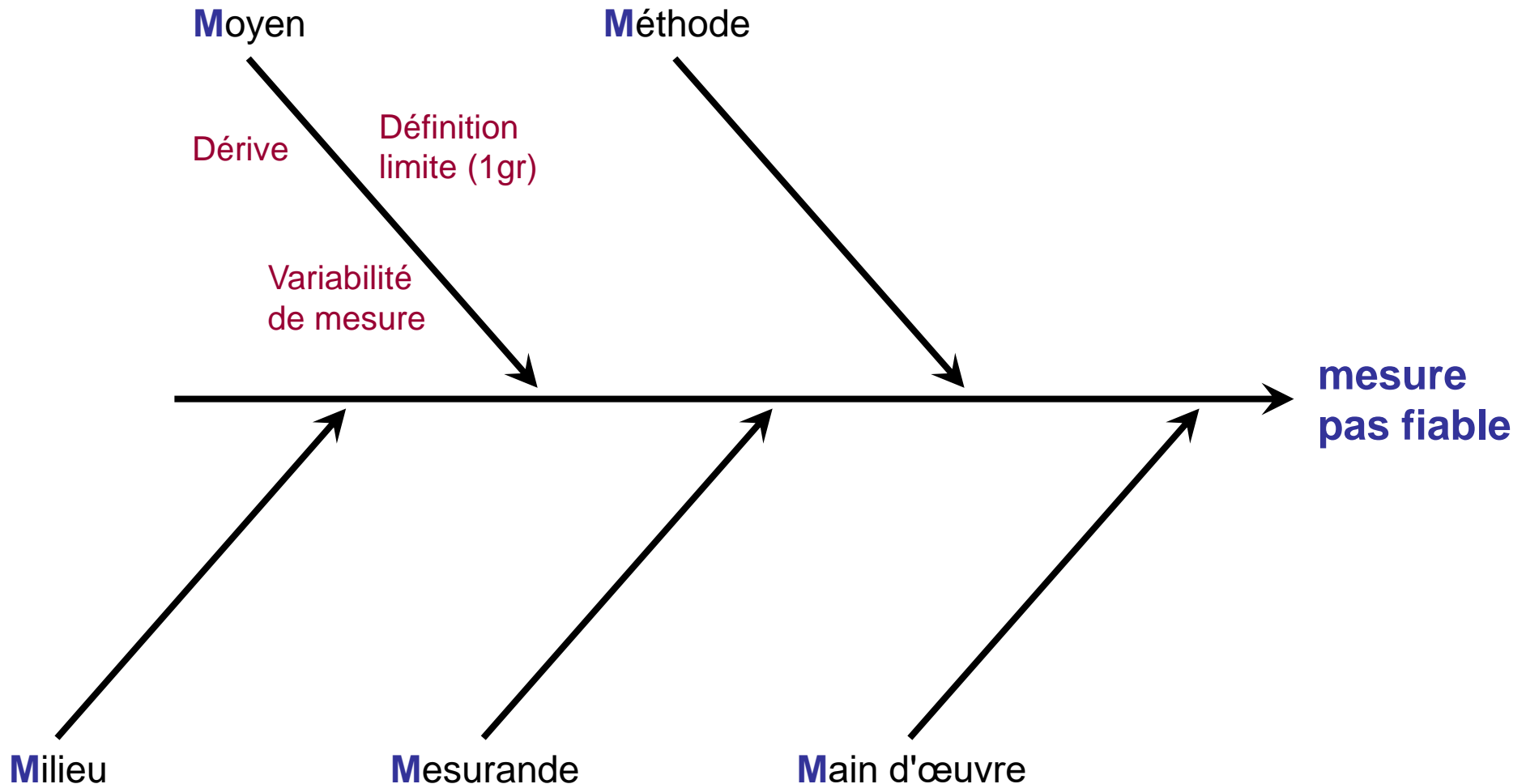
- Conclusion sur la balance TEFAL ?



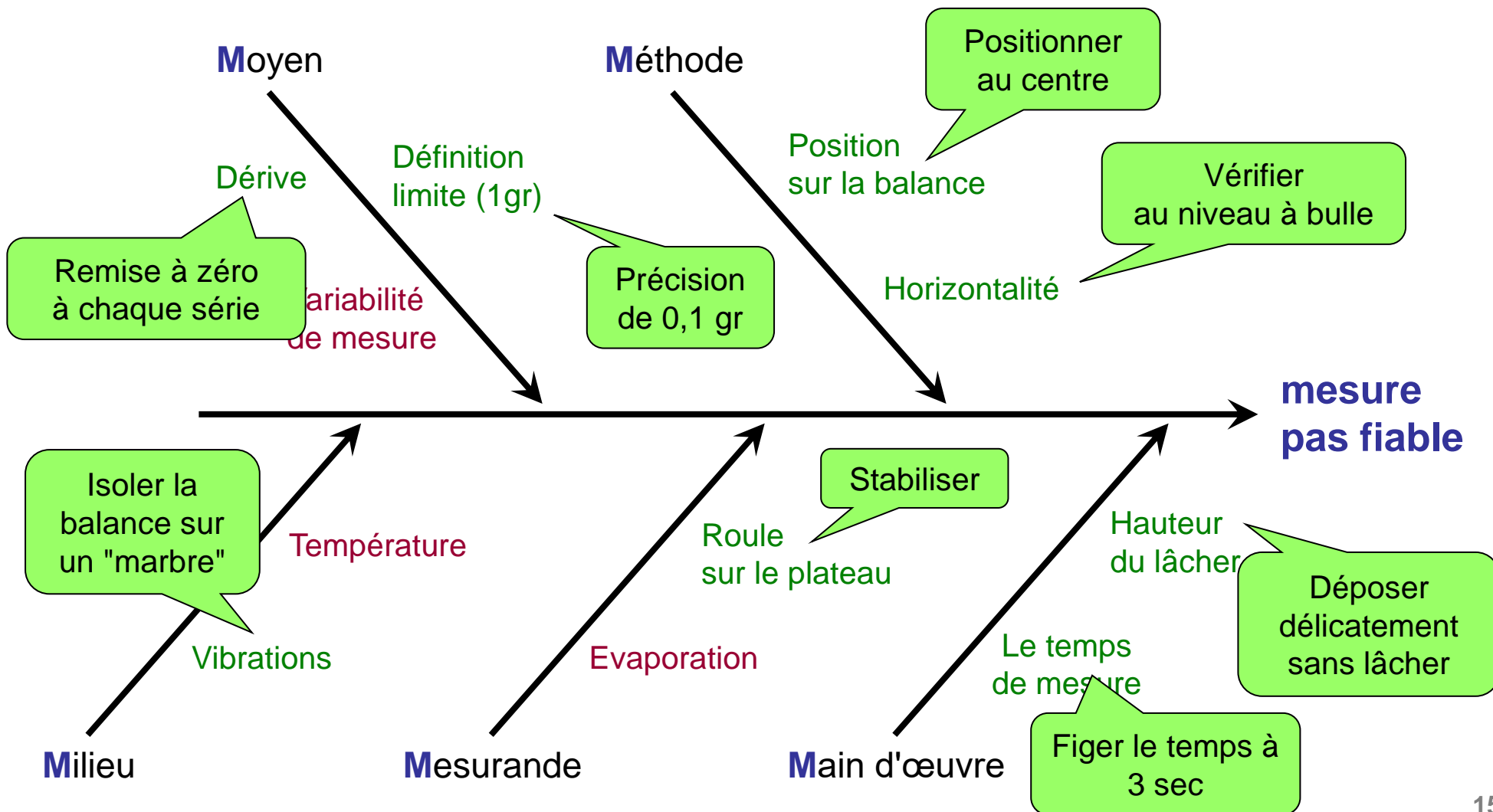
Cpc (Capabilité du processus de contrôle), Méthode de l'étendue et Analyse de la Variance																		
Analyse Cpc	Date		Référence															
Moyen de mesure	Type		Référence															
Pièce mesurée	désignation		Référence															
Caractéristiques	Désignation		Tolérance mini		Intervalle de tol													
			Tolérance maxi		0													
	Opérateur 1					Opérateur 2					Opérateur 3							
N° pièce	1 ^{ère} mesure	2 ^{ème} mesure	3 ^{ème} mesure	/X	R	1 ^{ère} mesure	2 ^{ème} mesure	3 ^{ème} mesure	/X	R	1 ^{ère} mesure	2 ^{ème} mesure	3 ^{ème} mesure	/X	R	//X	/R	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
				//X1	/R1				//X2	/R2								
Moyenne générale =					#DIV/0!	//R =					#DIV/0!							
messages	#N/A																	
Dispersion de mesure			Conclusions de l'analyse															
sigma répétabilité (EV)	#DIV/0!	#DIV/0!	R&R% ((5.15sigma)/Tol)	#NOMBRE!														
sigma reproductibilité (AV)	#N/A	#N/A	Cpc (IT/(6 sigma))	#NOMBRE!														
sigma instrument (GRR)	#####	100,0%	Procédé:	#NOMBRE!														

Capabilité du processus de contrôle (Cpc) < 4
Processus non capable

- Pourquoi la mesure n'est-elle pas fiable ?



- Exemples de remèdes :



Répétabilité

& Reproductibilité

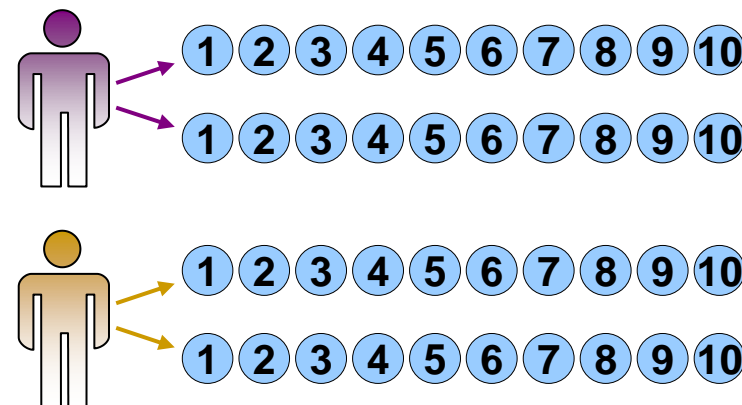


MESURER

10 boules

a) 2 fois de suite par le même opérateur

b) 2 fois de suite par un autre opérateur



■ Saisie dans la feuille de calcul Excel

test R&R 2

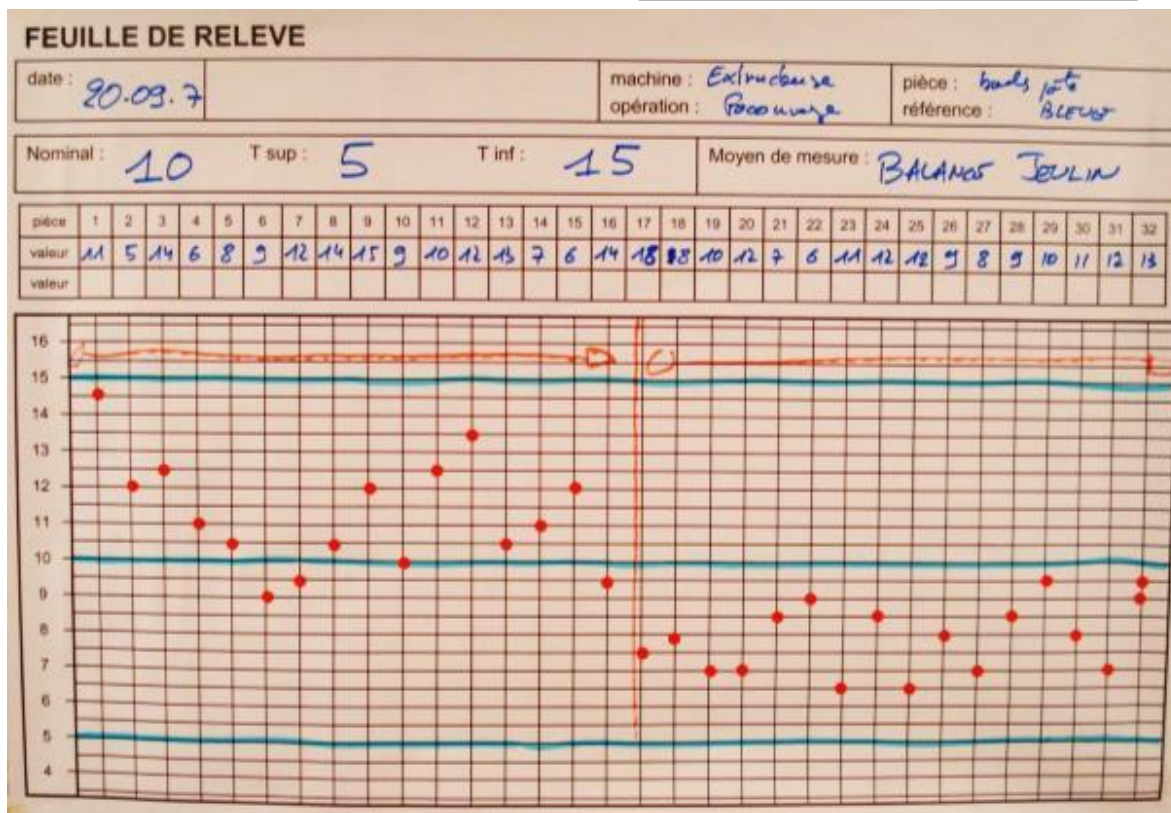


Chaque équipe :

- réalise les mesures des 30 boules en respectant l'ordre
- place les points relevés sur l'affiche
- saisit les mesures dans le fichier excel :

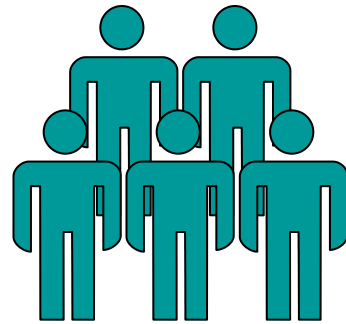
saisie PROD1

FEUILLE DE RELEVÉ																																		
date :		machine :										pièce :																						
		opération :										référence :																						
Nominal :										T sup :										T inf :										Moyen de mesure :				
pièce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
valeur																																		
16																																		
15																																		
14																																		
13																																		
12																																		
11																																		
10																																		
9																																		
8																																		
7																																		
6																																		
5																																		
4																																		



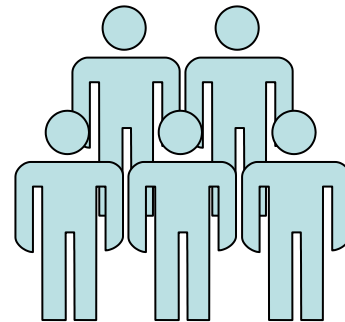
- Comparaison "visuelle" des productions des 4 équipes

FEUILLE DE RELEVÉ																																
date :										machine : opérateur :										pièce : référence :												
Nominal :										T sup :										T inf :												
Moyen de mesure :																																
pièce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
pièce																																
pièce																																



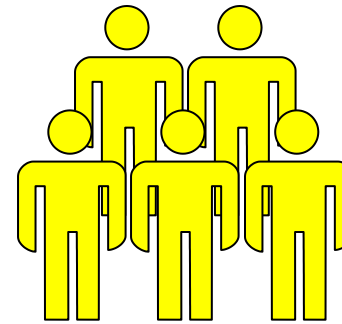
matin

FEUILLE DE RELEVÉ																																
date :										machine : opérateur :										pièce : référence :												
Nominal :										T sup :										T inf :												
Moyen de mesure :																																
pièce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
pièce																																
pièce																																



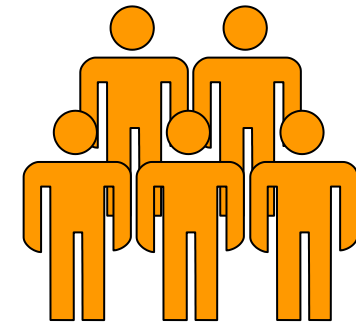
après-midi

FEUILLE DE RELEVÉ																																
date :										machine : opérateur :										pièce : référence :												
Nominal :										T sup :										T inf :												
Moyen de mesure :																																
pièce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
pièce																																
pièce																																



nuit

FEUILLE DE RELEVÉ																																
date :										machine : opérateur :										pièce : référence :												
Nominal :										T sup :										T inf :												
Moyen de mesure :																																
pièce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
pièce																																
pièce																																



week-end

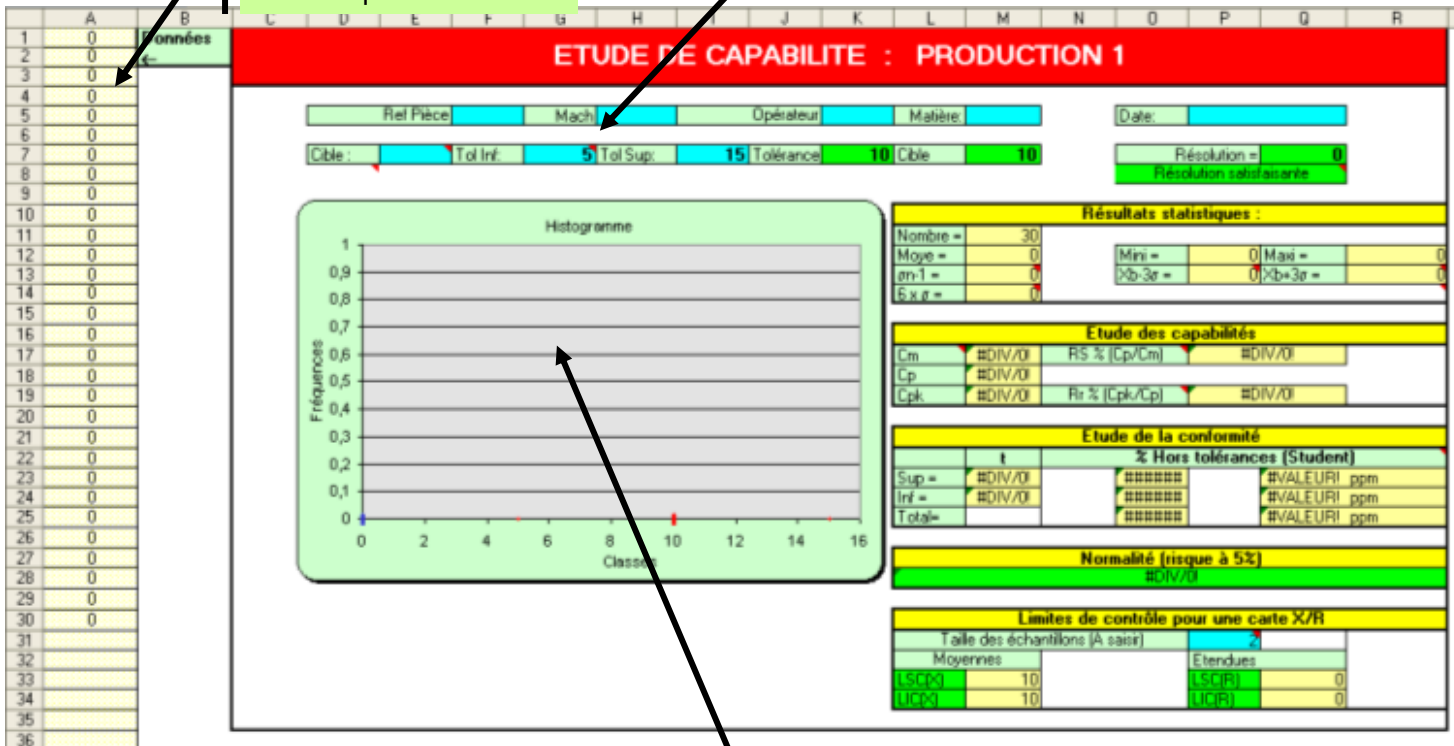
Comment évaluer quantitativement les 4 productions ?

- introduction : la Variabilité d'un procédé
- les Causes de dérives
- l'Intervalle de tolérance
- comment caractériser une production
- 6σ et Réduction de variabilité
- la notion de Capabilité
- les Capabilités Machine et Process
- les Capabilités en résumé ...

A propos du fichier Excel ...

les données sont
recopiées
automatiquement

saisir Tol Inf et Tol Sup



résultats statistiques

calcul des capacités

donne le % de pièces
hors tolérance
supérieure et inférieure

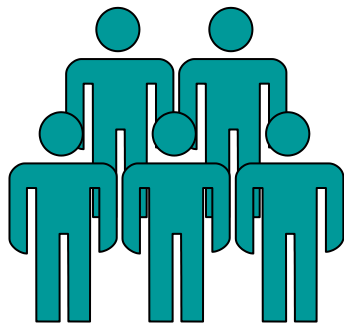
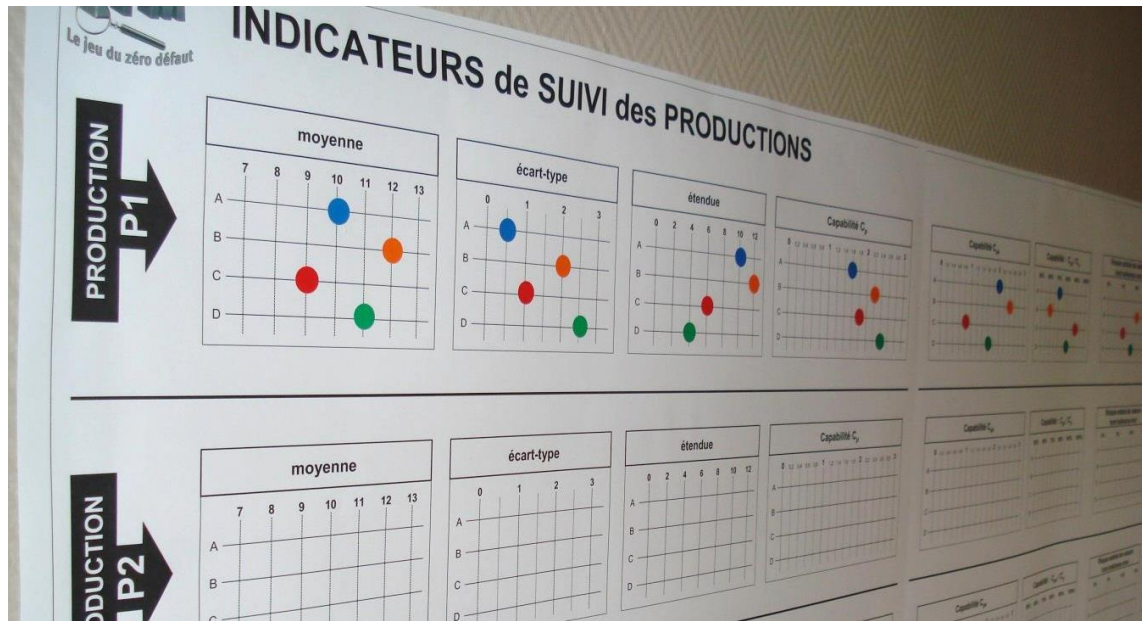
un test de normalité de
la courbe est effectué

calcul des limites de
cartes de contrôle (non
utilisé dans le jeu PPM)

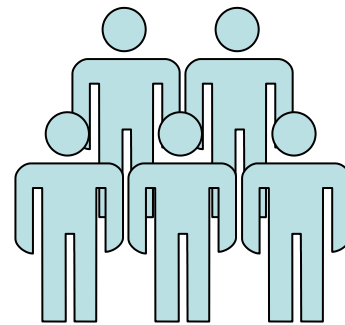
histogramme des 30
pièces

- Chaque équipe affiche ses résultats

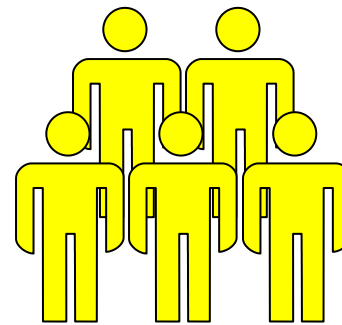
calcul PROD1



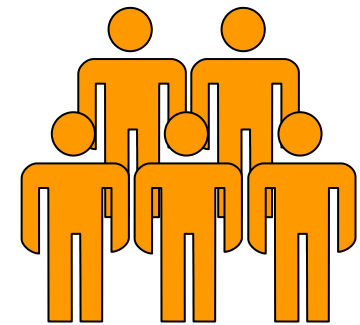
A : matin



B : après-midi

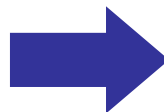


C : nuit

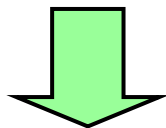


D : week-end

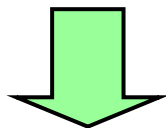
loi NON normale



pas de calcul statistique !!
(donc pas de capacités)

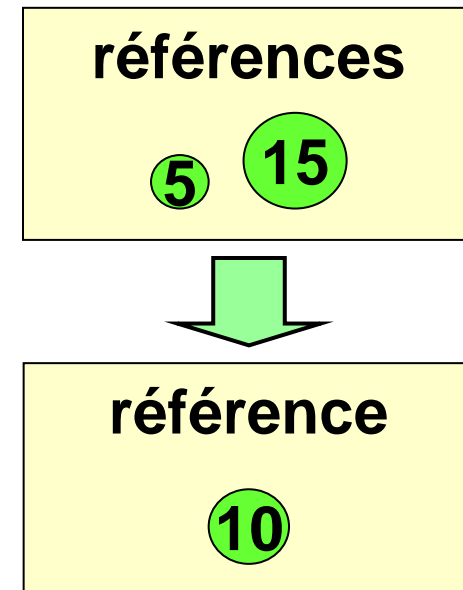


procédé NON stabilisé



**existence de
cause(s) spéciale(s)**

- définition du problème
 - forte dispersion, tri très onéreux
- objectif à atteindre
 - mettre le processus sous contrôle
 - càd éliminer les causes spéciales
- recherche de la cause spéciale n°1
 - viser entre 5 et 15 grammes
- quelle solution envisager ?
 - passer à la référence unique de 10 grammes



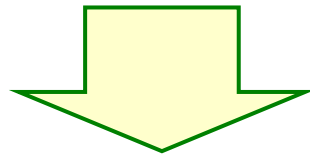
- Chaque équipe réalise une boule de référence de 10,0 grs



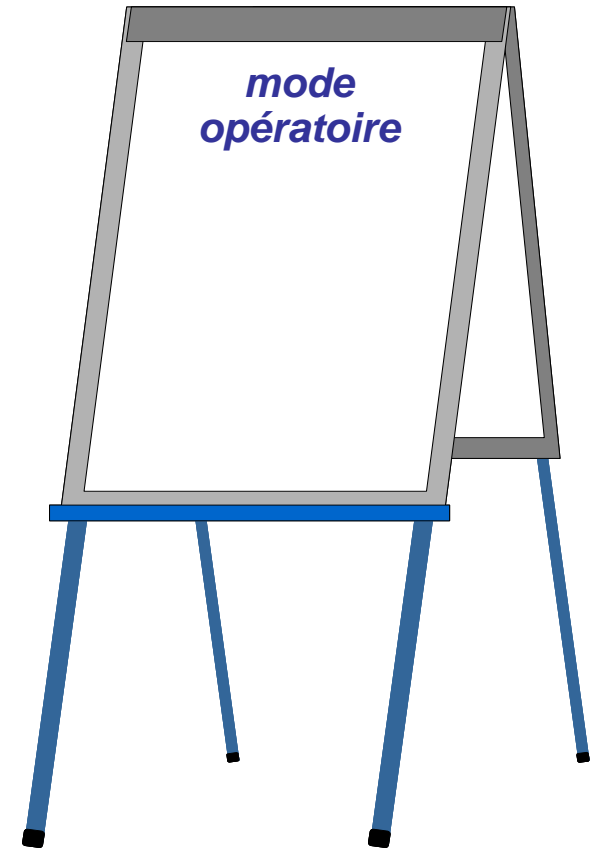
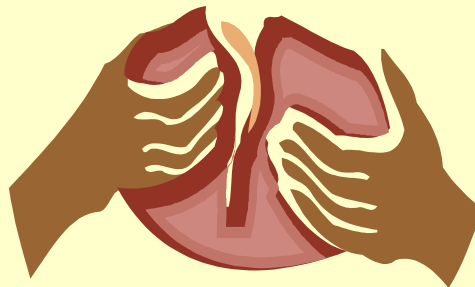
élimination
de la cause
spéciale n°1

référence

10



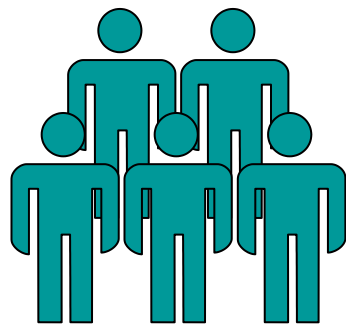
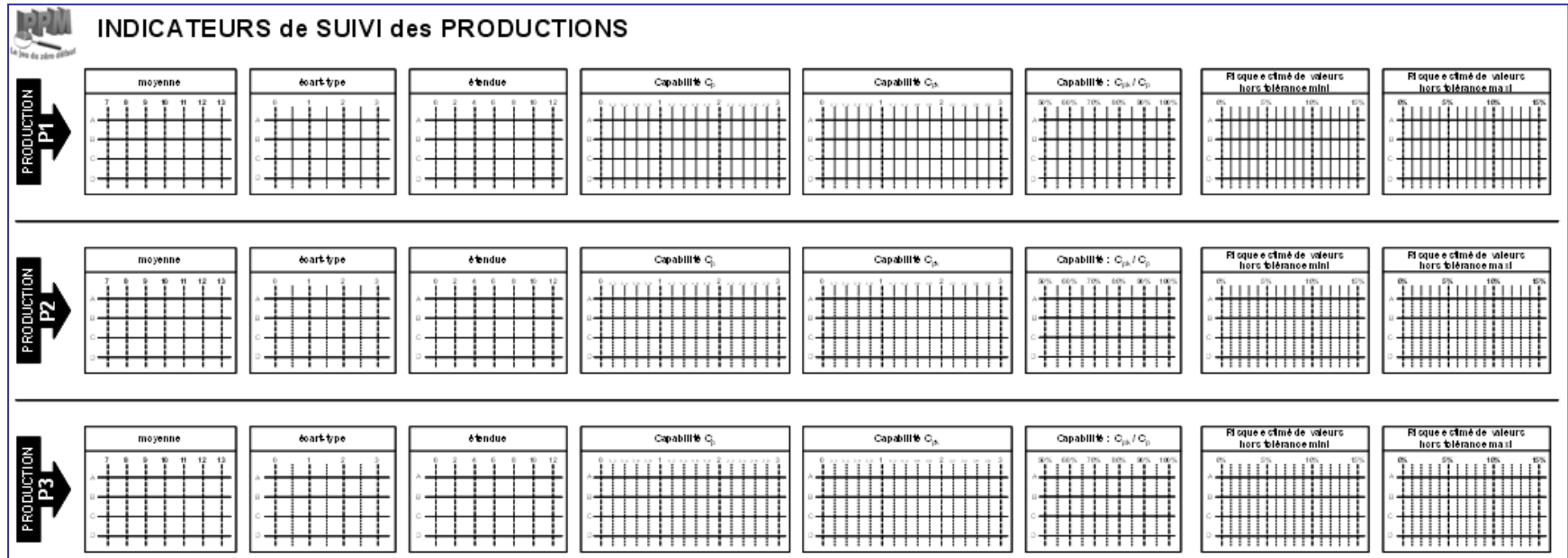
uniformisation
de la manière
d'opérer



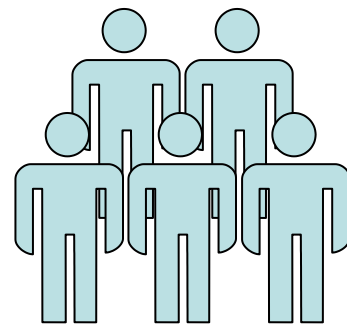


- Chaque équipe affiche ses résultats

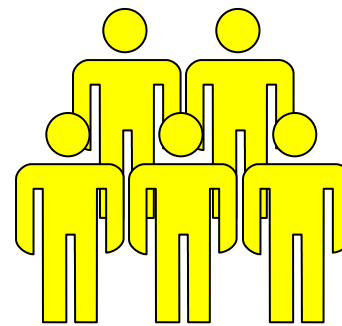
calcul PROD2



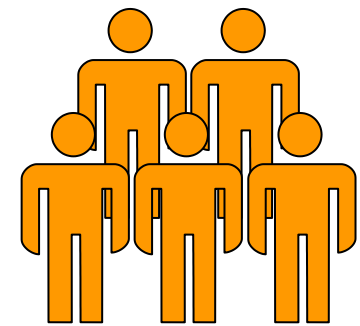
A : matin



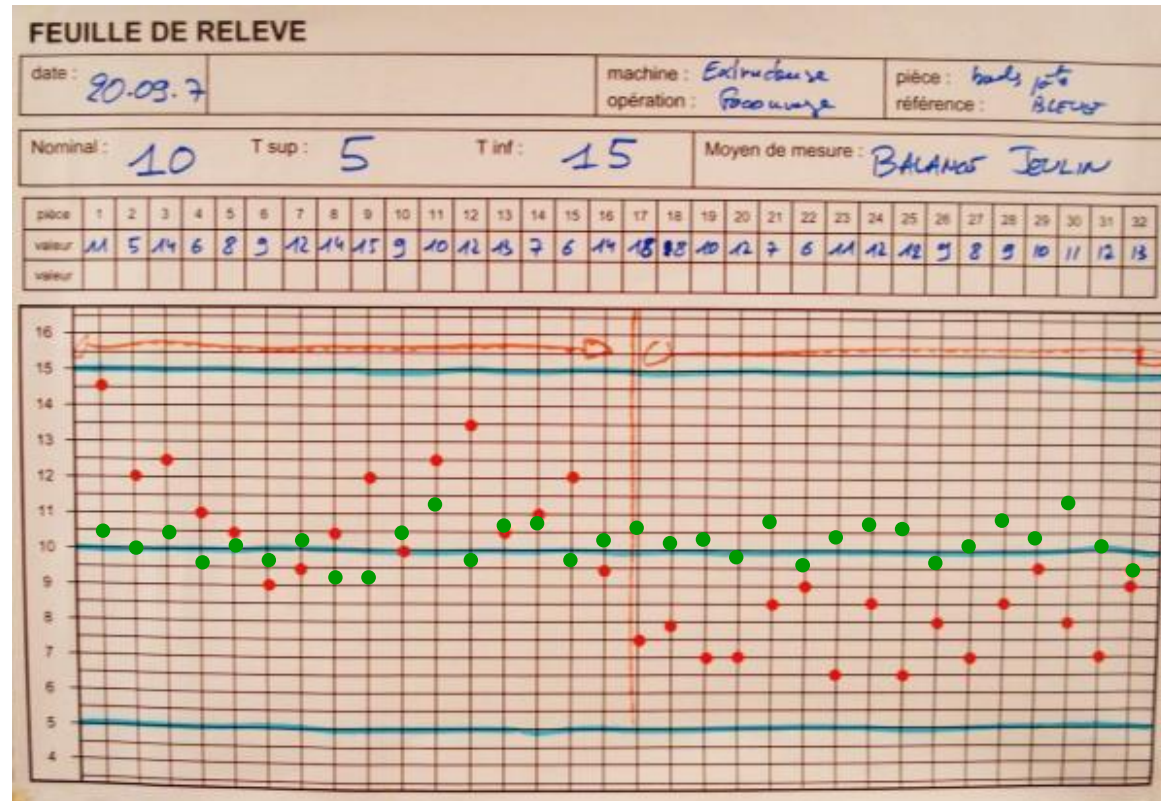
B : après-midi



C : nuit



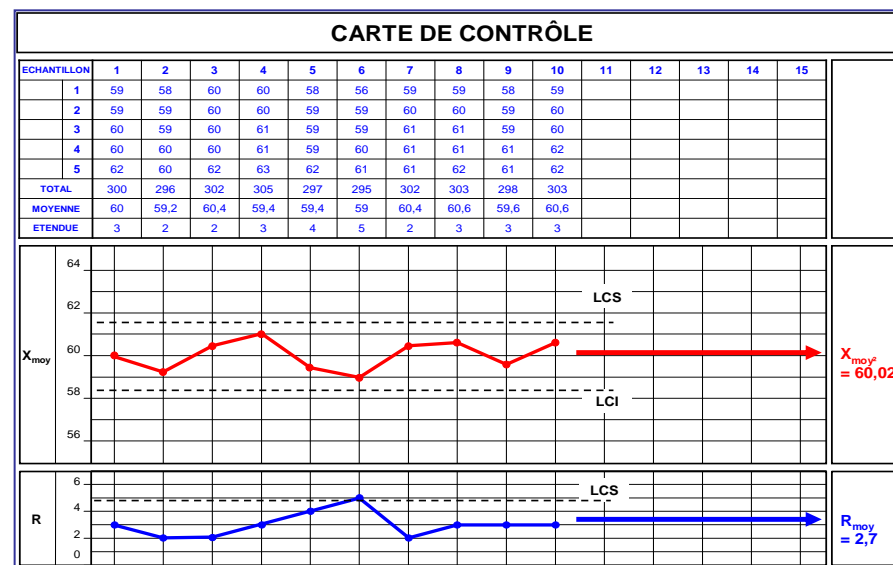
D : week-end



- Analyse qualitative des courbes :
 - davantage resserrées
 - davantage centrées
- Analyse quantitative :
 - la loi est-elle normale ?
 - quelles sont les valeurs des capacités ?
 - quel est le pourcentage de défauts ?

- Résultats :
 - processus stabilisé
 - client satisfait
 - coûts de non-qualité réduits

- Que faire à cette étape de la démarche d'amélioration ?
 - contrôler le maintien de cette performance



NOTE INTERNE

Notre client a des projets de modifications des xylérateurs, et il nous demande à court terme de réduire la dispersion comme suit :

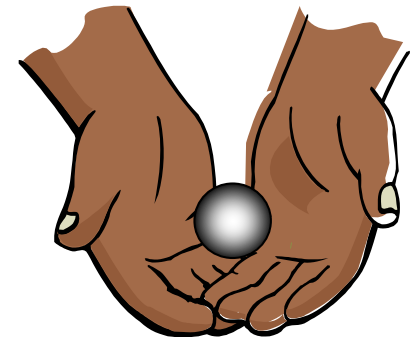
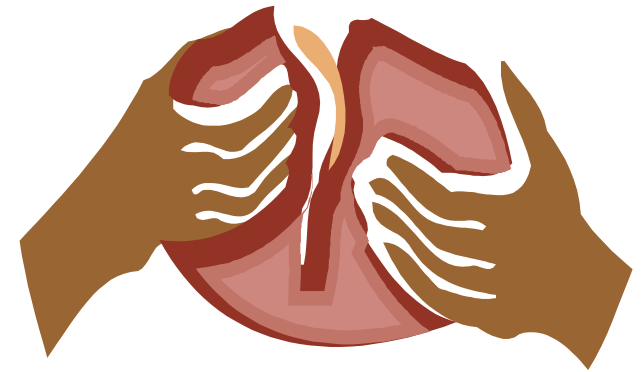
10 +/- 3 grs

Par ailleurs, les exigences du marché et notre stratégie nous poussent à conserver un avantage compétitif.

Par conséquent, la Direction Qualité vous demande un indice de capabilité process (C_{pk}) au minimum de 1,33.

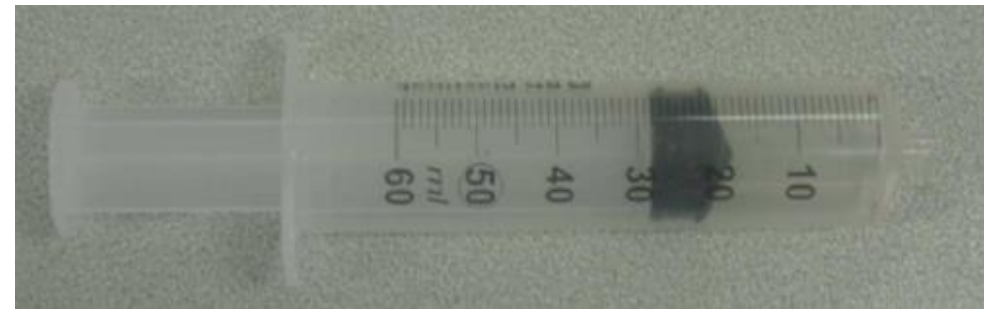
$C_{pk} = 1,33$

- Comment faire pour réduire encore la dispersion ?
- Quelle est la cause principale de la dispersion obtenue ?
 - difficulté à doser la matière
- Quelles solutions envisager pour mieux doser la matière ?

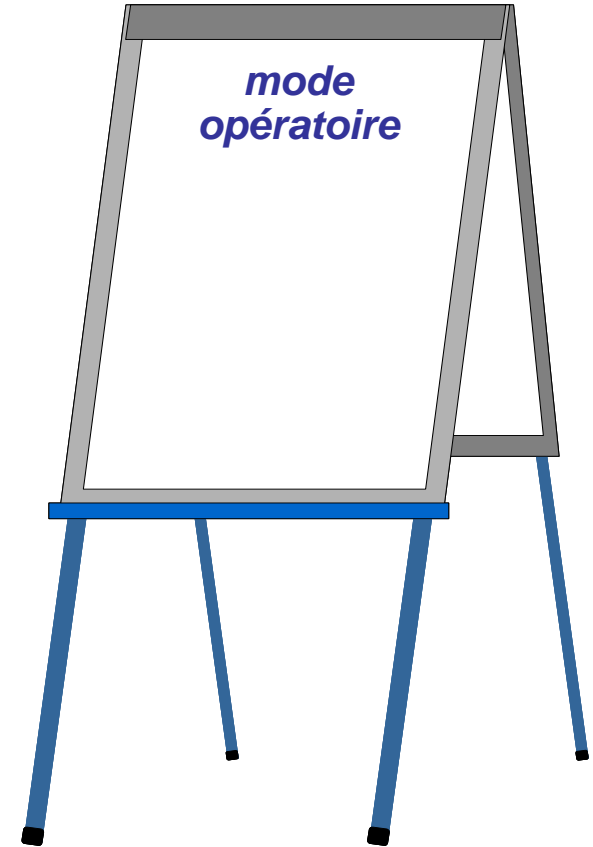
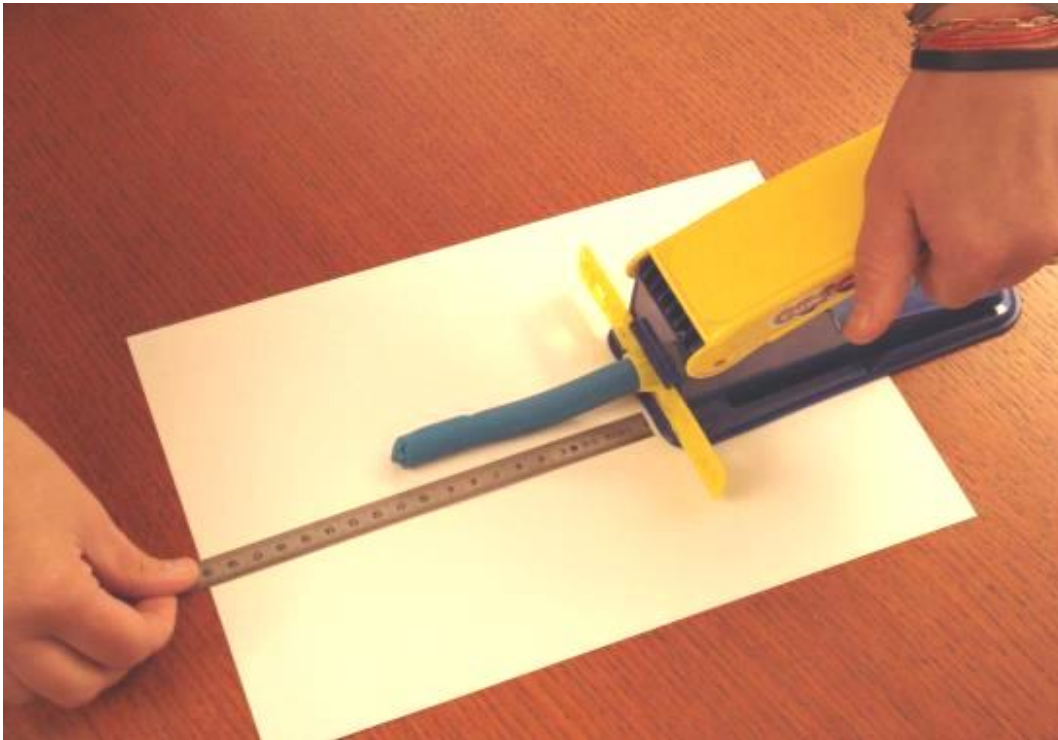


3 solutions possibles :

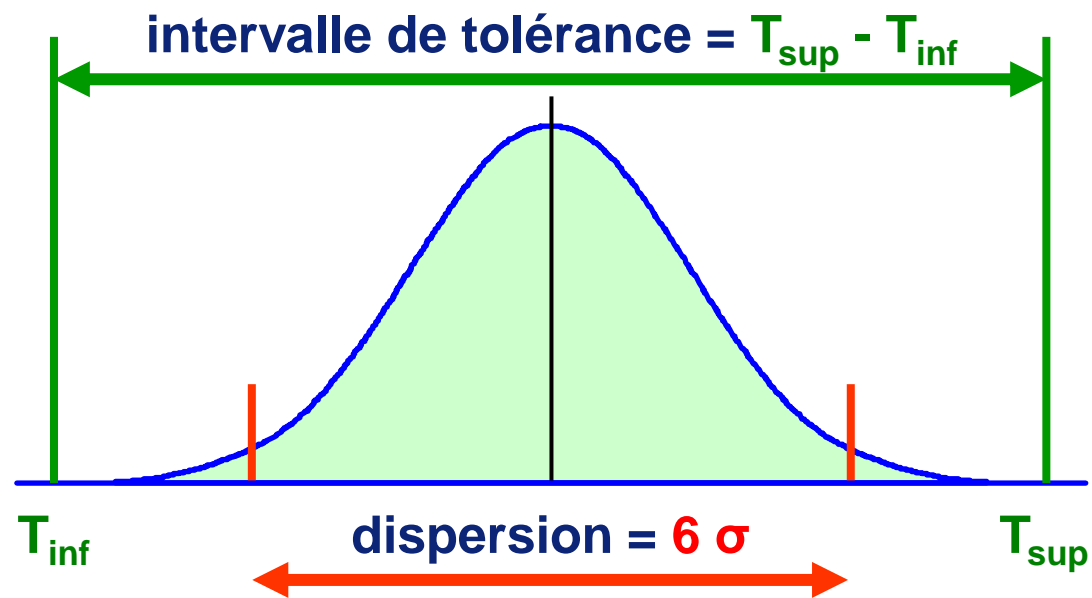
- bac à glaçons (de 10 grammes)
- seringue
- machine play-doh



- Définir le Mode Opérateur :
 - meilleure trémie
 - corrélation poids / longueur
 - valeur nominale et tolérance

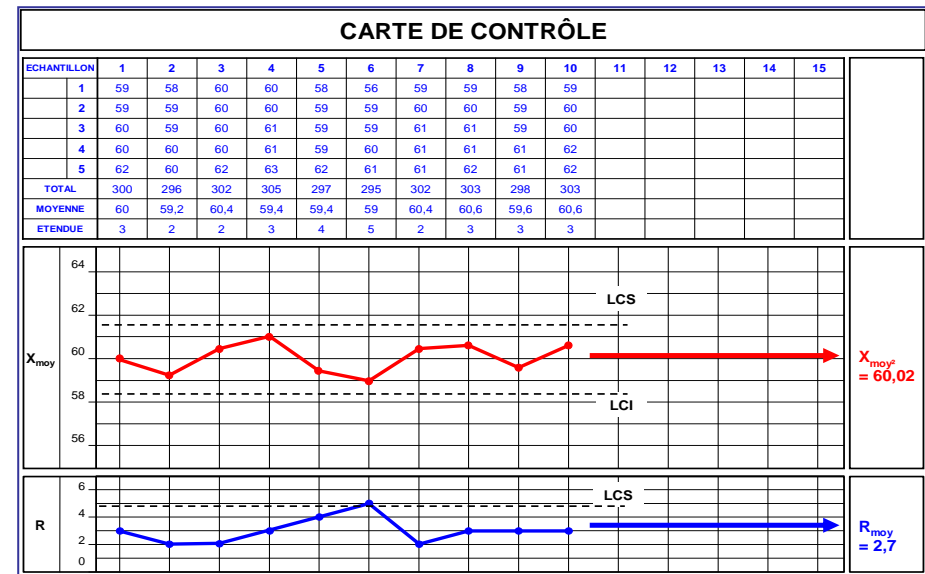


- Atteinte de l'objectif de capabilité : $C_{pk} > 1,33$



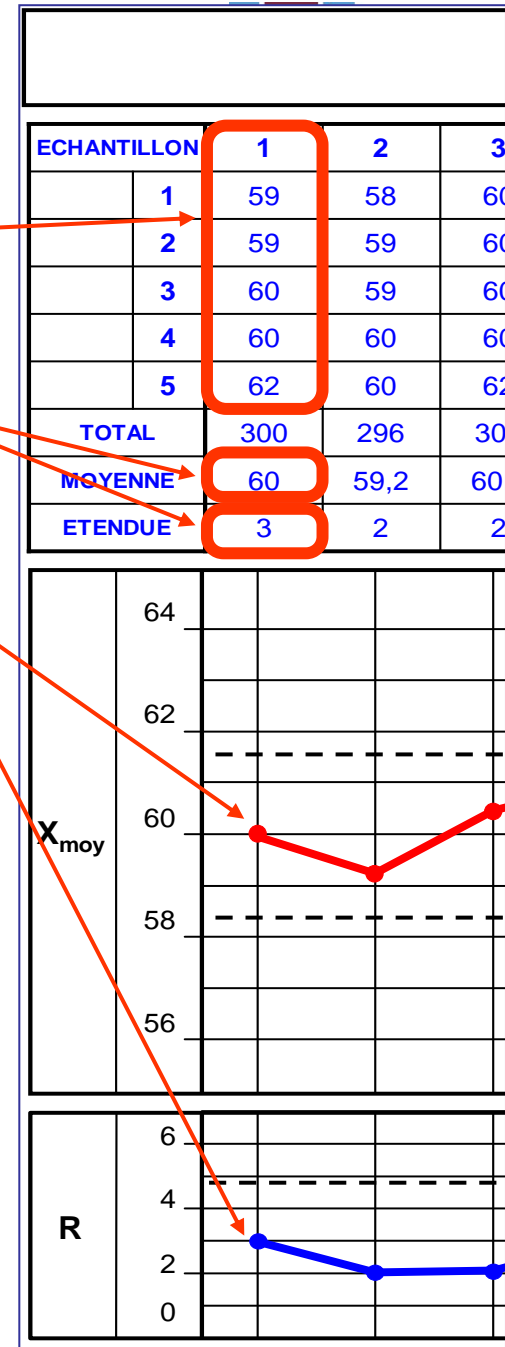
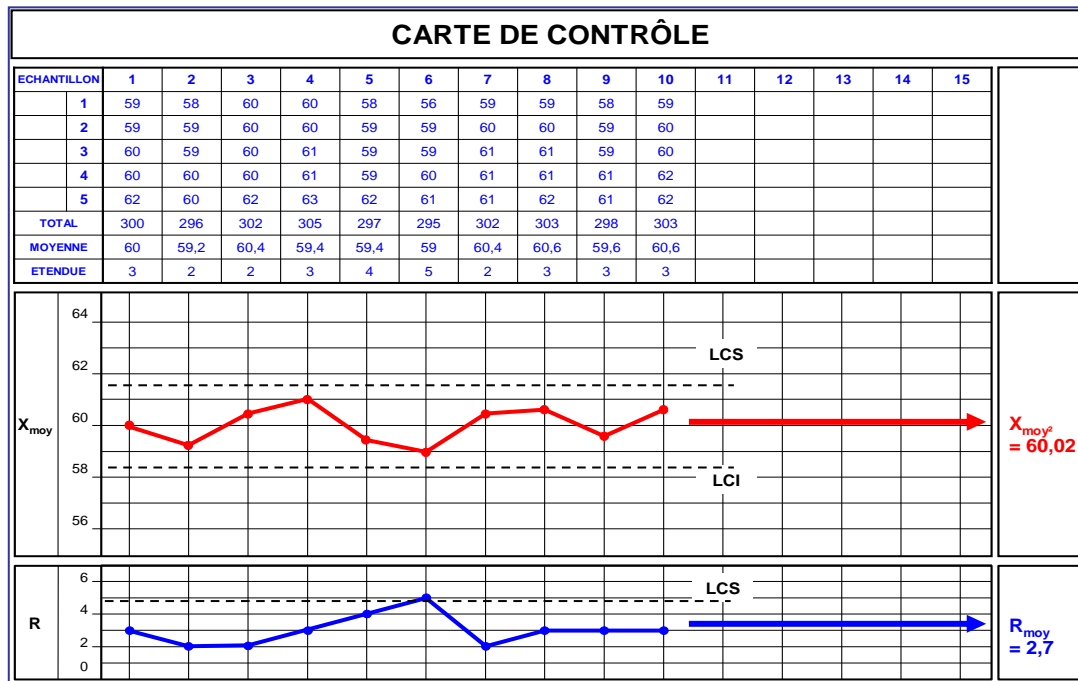
- Quelle équipe a la meilleure capabilité ?

- Comment s'assurer que le procédé ne dérive pas ?
 - utilisation d'une **carte de contrôle**



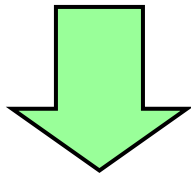
Principe de la carte de contrôle

- on prélève des pièces
- on calcule la moyenne, et l'étendue
- on place les points sur un graphique
- on surveille l'évolution des courbes
- on décide en fonction des évolutions

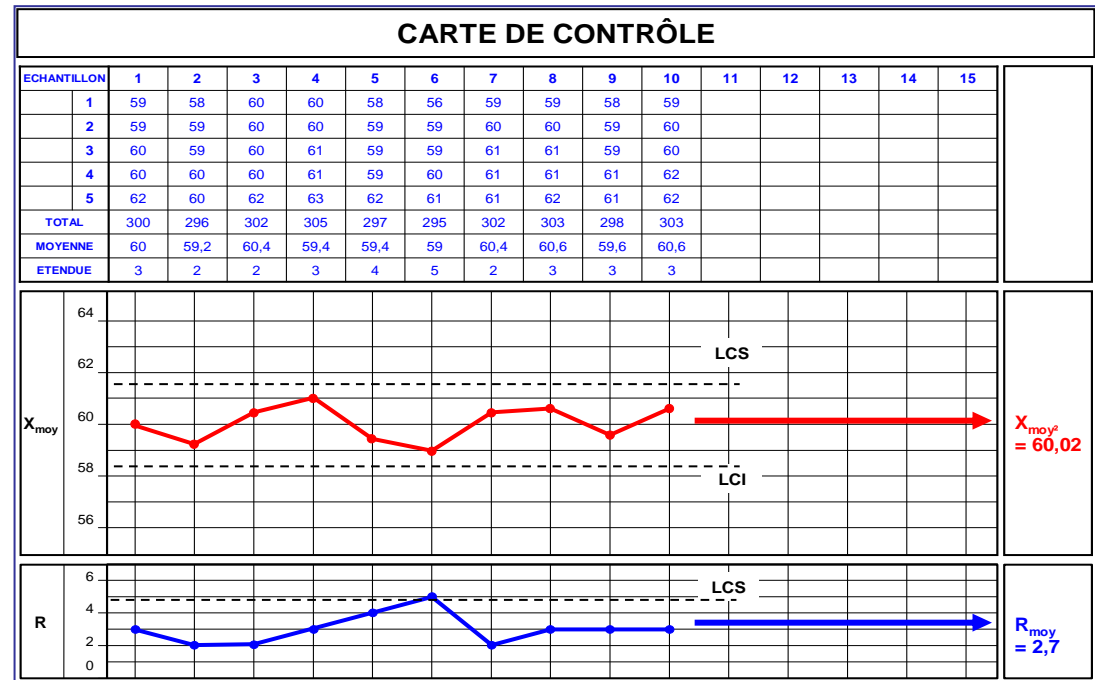


5 situations types

- moyennes
- étendues

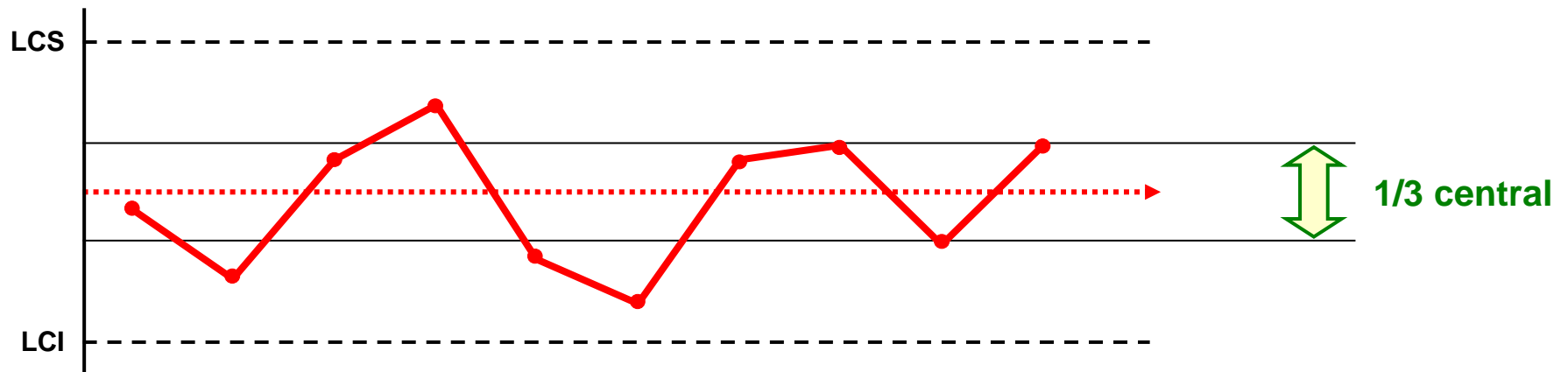


5 décisions
pour le pilotage



Procédé sous contrôle :

- les courbes X_{moy} et R oscillent de chaque côté de la moyenne
- 2/3 des points sont dans le tiers central de la carte



Décision :

- PAS D'INTERVENTION

Aucun procédé n'est capable de produire toujours exactement le même produit

- Les dispersions sont dues à des causes **Spéciales** et à des causes **Normales** : il convient de les distinguer
- Les causes Spéciales doivent être **éliminées**
- Les moyens de mesure doivent être validés (**test R&R**)
- Il est plus important de **viser la cible**, que d'avoir tous les points dans l'intervalle de tolérance
- La **dispersion de 6σ** permet d'avoir 99,99966 % de produits bons, soit 3,4 Ppm
- Un procédé est dit capable si l'intervalle de tolérance est plus grand que la dispersion aléatoire du procédé (avec une marge, càd **capabilité supérieure à 1,33**)

**MAÎTRISE DES
PROCÉDÉS DE
FABRICATION**

**RÉDUCTION DE LA
VARIABILITÉ**

**CAUSES
DE DÉRIVE**

**STANDARDISATION
DES MODES
OPÉRATOIRES**

LOI NORMALE

DISPERSION

6 SIGMA

**CAPABILITÉ DES
MOYENS DE
MESURE**

**REPRODUCTIBILITÉ
ET RÉPÉTABILITÉ**

**CARTES DE
CONTRÔLE**

**PPM
(Partie Par Million)**

TOLÉRANCES

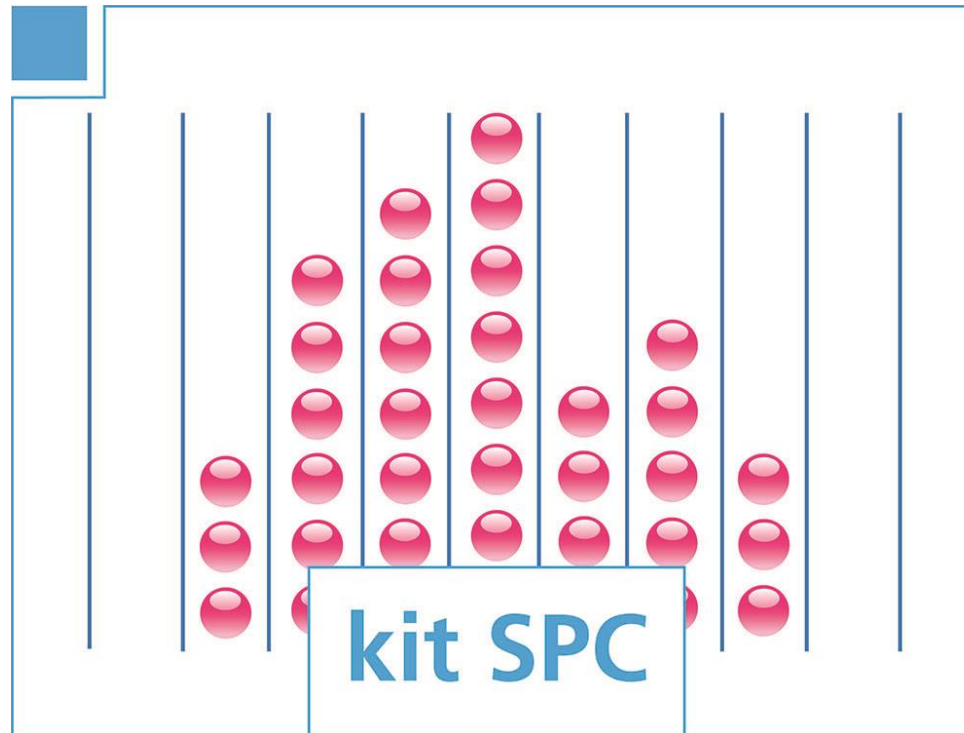
Diverses formules de mise en œuvre du jeu sont possibles : *n'hésitez pas à nous contacter*

Contact : **Nadia GHARBI**

Tél. : 01 40 64 59 18

Mail : info@cipe.fr

- **Acquisition** du jeu :
 - Matériel
 - Licence d'utilisation
 - Option de formation de mise en main (formation des futurs formateurs à l'utilisation du jeu)
 - Option de customisation du jeu à votre problématique
- Achat d'une **animation** du jeu :
 - Réalisée par un animateur du CIPE
 - Incluant le matériel mis en œuvre
 - Option de customisation de l'animation à votre problématique
- Le jeu peut être **customisé**, à divers niveaux :
 - Vocabulaire utilisé
 - Choix de chapitres spécifiques du jeu existant
 - Ajout de concepts / chapitres
 - Adaptation du jeu à un nombre de stagiaires important
 - Etc.



Une étude basée sur un simulateur (Planche de Galton)
pour découvrir les principes du SPC aux mesures



- Public concerné :
 - Tout public
 - Encadrement, Maîtrise, Employés
 - Etudiants

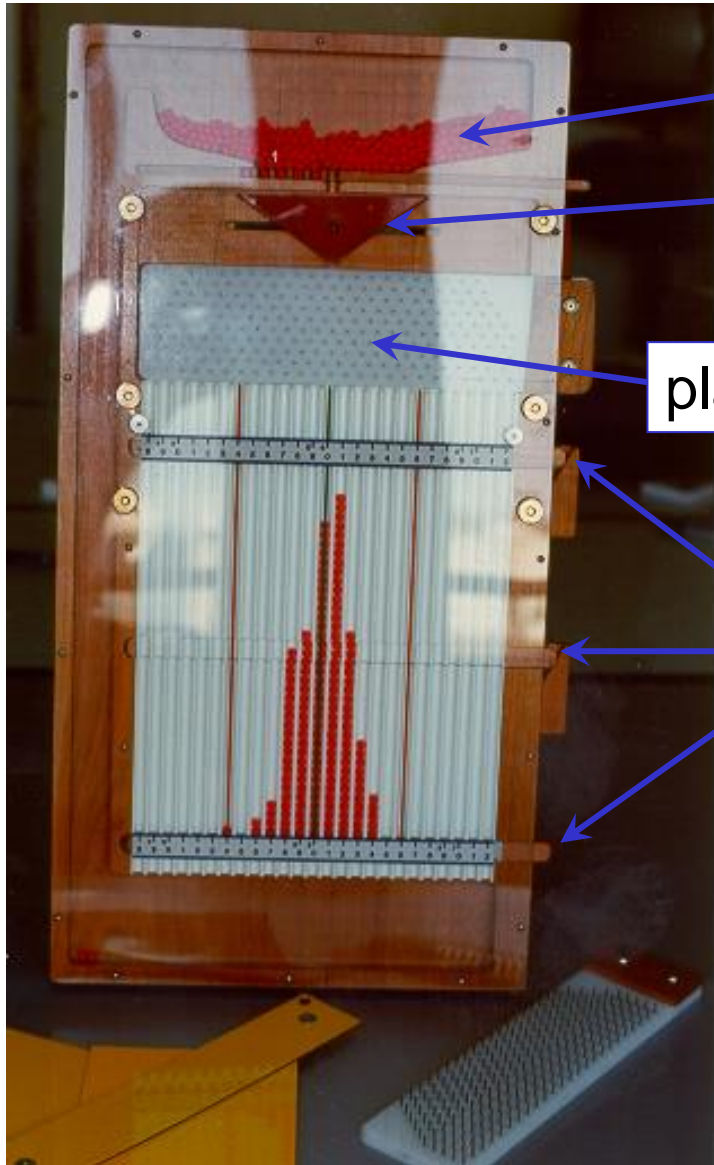


- Taille du groupe :
 - entre 6 et 16 personnes
- 1 à 3 jours
 - Fractionnable en plusieurs séances

- Acquérir un savoir-faire dans l'utilisation de la Maîtrise Statistique des Processus au service du Progrès Permanent

Concepts abordés :

- Réalisation de l'histogramme d'une fabrication
- Compréhension de la Loi Normale comme représentant d'une fabrication sans aléas
- Mise en place de la surveillance d'une fabrication à partir d'un document basé sur la moyenne et l'étendue
- Construction des limites de contrôle
- Utilisation des cartes de contrôles, et repérage des causes assignables pour les supprimer
- Calcul de capabilité, et compréhension des principes

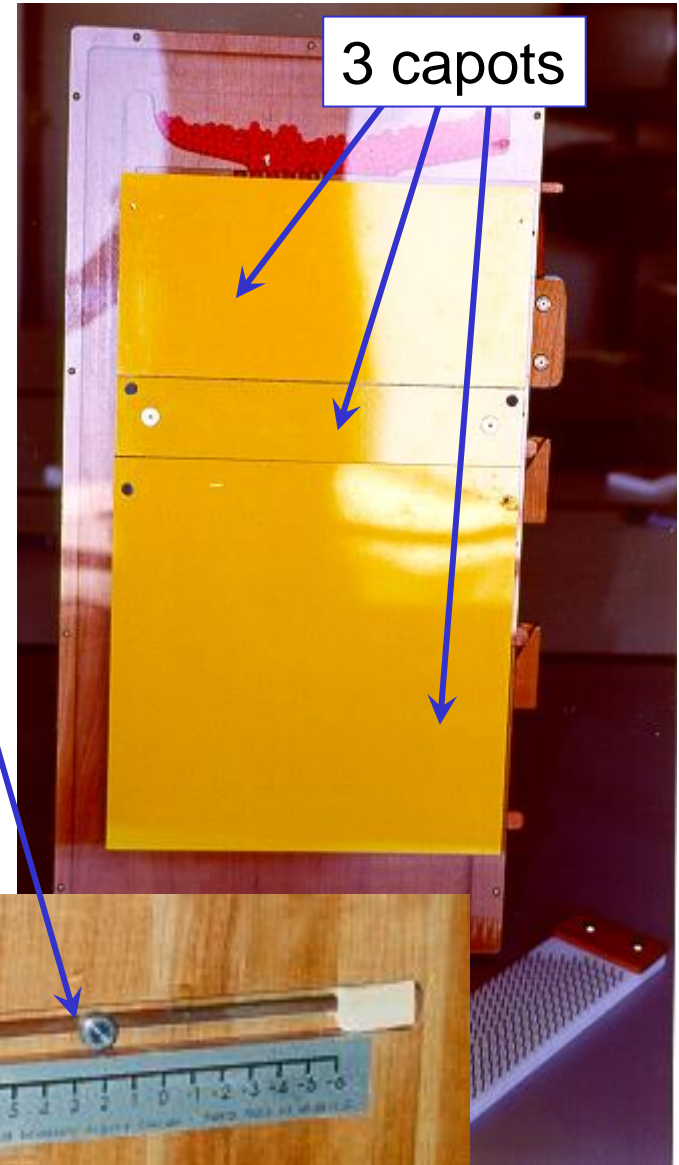


billes

trémie réglable

planche à clous

baguettes



3 capots



J1	Introduction	1 heure
	1. Distribution et Non-Qualité	1 heure
	2. La mesure de Conformité	1 heure
	3. Courbe en cloche et Echantillon	1 heure
J2	4. Contrôle par prélèvement d'une pièce	2 heures
	5. Analyse des échantillons de 5 pièces	1 heure
	6. Moyenne et Etendue	2 heures
	7. Surveillance du Processus	2 heures
J3	8. Les limites de contrôle	1 heure
	9. Capabilité à court terme	1 heure
	10. Evaluation de la Capabilité	2 heures
	11. Efficacité du Processus	1 heure
J4	12. Evaluation de l'efficacité du Processus	2 heures
	13. Mise en place des Cartes de contrôle	3 heures
	Synthèse - Cas particuliers - Débat	3 heures

Recherche des CAUSES de non-qualité

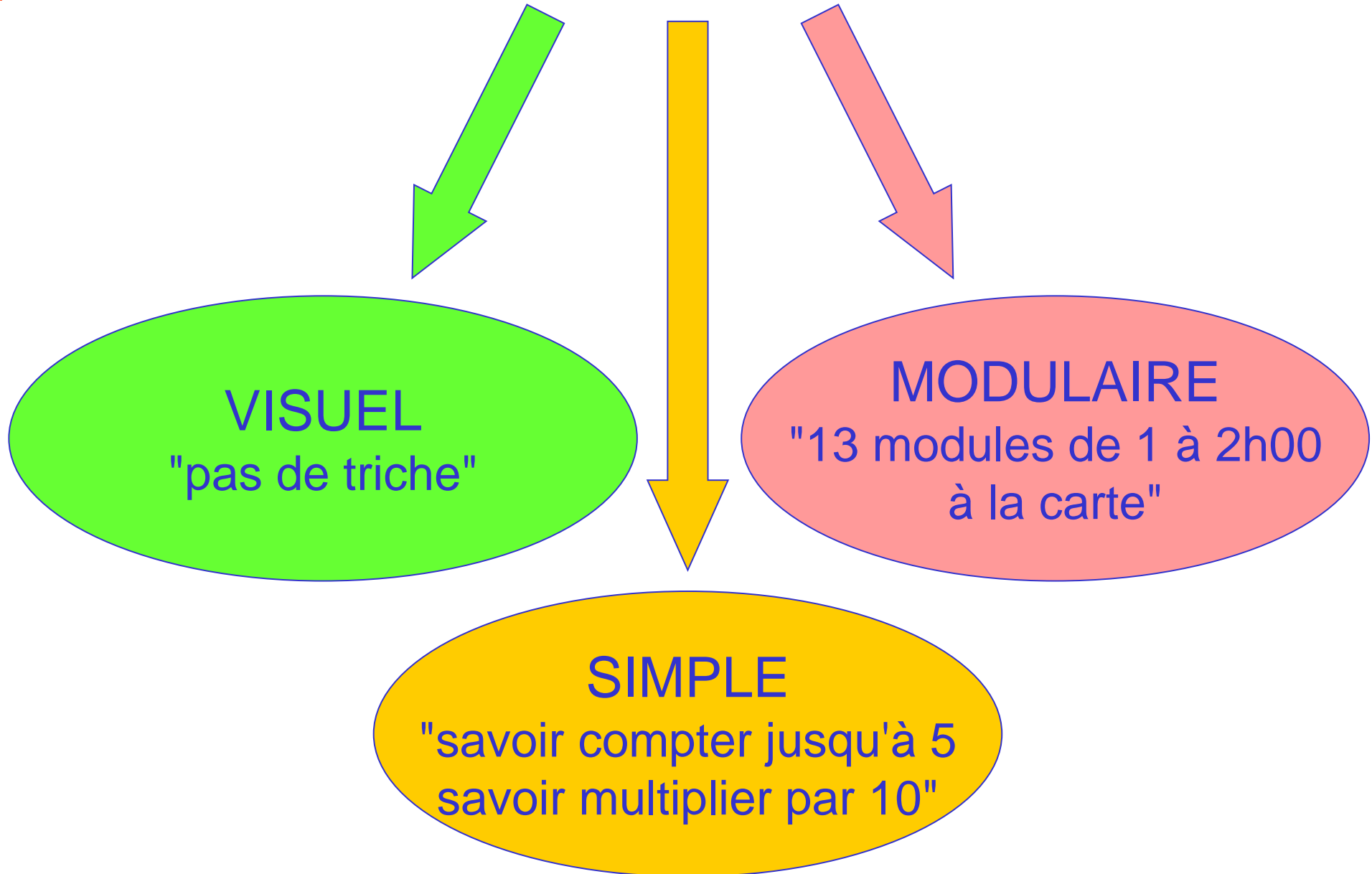




Exemple de carte de contrôle (format A1)

DATE : <u>11/07/11</u>		EQUIPE : <u>P.W. - C.B</u>										MACHINE : <u>1</u>					PIECE REF :								
ECHANTILLON		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	COTE NOMINALE : <u>8,60</u>			
		1	59	58	60	60	58	56	58	59	58	58											TS : <u>8,66</u>		
		2	59	60	60	60	59	59	60	60	59	60											TI : <u>8,54</u>		
		3	59	59	60	61	59	59	61	61	59	60											TAILLE ECHANTILLON (n) : <u>5</u>		
		4	60	60	60	61	59	60	61	61	61	62											FREQUENCE PRELEVEMENT :		
		5	60	60	62	63	62	61	61	62	61	62											MOYEN DE MESURE :		
TOTAL																									
MOYENNE																									
ETENDUE																									

© COPYRIGHT CIPE FRANCE / Le mercredi 11
 le.bonjourdujour
 CIPE - PARIS (11 45 25 17 17)



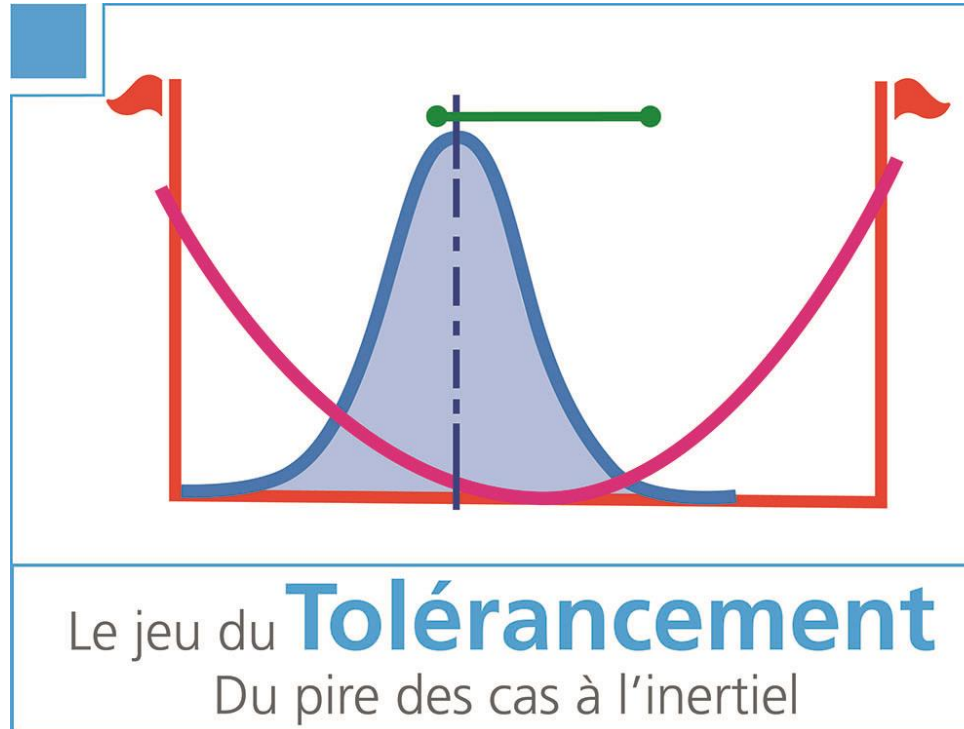
Diverses formules de mise en œuvre du jeu sont possibles : *n'hésitez pas à nous contacter*

Contact : **Nadia GHARBI**

Tél. : 01 40 64 59 18

Mail : info@cipe.fr

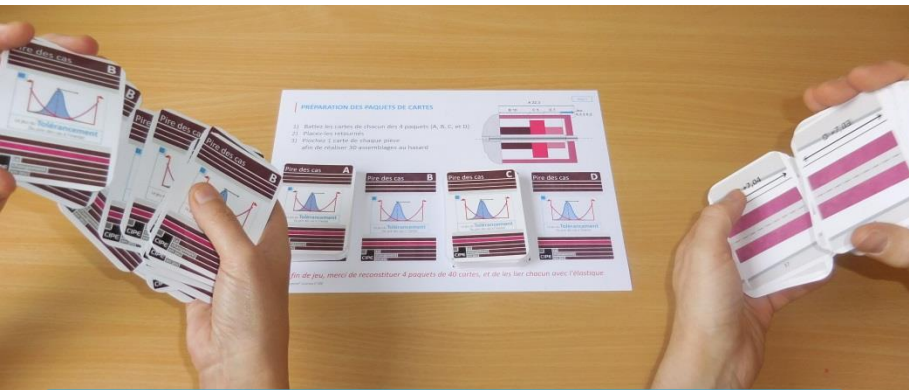
- **Acquisition** du jeu :
 - Matériel
 - Licence d'utilisation
 - Option de formation de mise en main (formation des futurs formateurs à l'utilisation du jeu)
 - Option de customisation du jeu à votre problématique
- Achat d'une **animation** du jeu :
 - Réalisée par un animateur du CIPE
 - Incluant le matériel mis en œuvre
 - Option de customisation de l'animation à votre problématique
- Le jeu peut être **customisé**, à divers niveaux :
 - Vocabulaire utilisé
 - Choix de chapitres spécifiques du jeu existant
 - Ajout de concepts / chapitres
 - Adaptation du jeu à un nombre de stagiaires important
 - Etc.



Une simulation concrète et réaliste,
pour découvrir et mettre en œuvre les modes de tolérance

Description du jeu en 1 diapo

Le jeu du Tolérancement, du pire des cas à l'inertiel® est une **simulation physique et assistée par logiciel**



Outre les jeux de cartes, la simulation s'appuie sur le logiciel **Ellistat** qui permet de simuler toutes sortes d'assemblages, et de découvrir les concepts / avantages / limites des différents tolérancements



- **1^{ère} phase du jeu : découverte de la problématique**
 - Réalisation de 90 assemblages (comportant chacun 4 cotes contributrices) par tirage au sort de cartes donnant les valeurs des cotes
 - Découverte des trois modes de tolérancement
 - Pire des cas, Statistique, Inertiel
- **2^{ème} phase du jeu : les modes de tolérancements**
 - Rappel sur les tolérancements Au pire des cas et Statistique
 - Découvrir les contraintes
 - Comprendre les conditions d'utilisation
 - Mise en œuvre du tolérancement inertiel
 - Définition et calcul de l'inertie, et de l'inertie maximale
 - Impact des choix de tolérancement sur la hiérarchisation des caractéristiques
- **3^{ème} phase du jeu : exercice d'application**
 - Mise en place des tolérances sur un assemblage mécanique comportant 6 jeux, et 12 cotes contributrices
 - Arbitrage entre les différents tolérancements possibles
 - Travail collaboratif avec la production
 - Réduction de la gravité
 - Amélioration de la fabricabilité



■ Public concerné :

- Cadres, Maîtrise, Employés
- Etudiants

■ Taille du groupe :

- entre 4 et 16 personnes
- Possibilité d'aller au-delà avec un kit complémentaire, et avec deux animateurs



■ De 6h20 à 10h20

- Fractionnable en plusieurs séances

■ Décrire les modes de tolérancement

- Tolérancement au Pire des cas (ou arithmétique)
- Tolérancement Statistique (ou quadratique)
- Tolérancement Inertiel

■ Prendre conscience des spécificités de chaque mode de tolérancement

- Coût du Tolérancement au Pire des cas
- Limites du Tolérancement Statistique

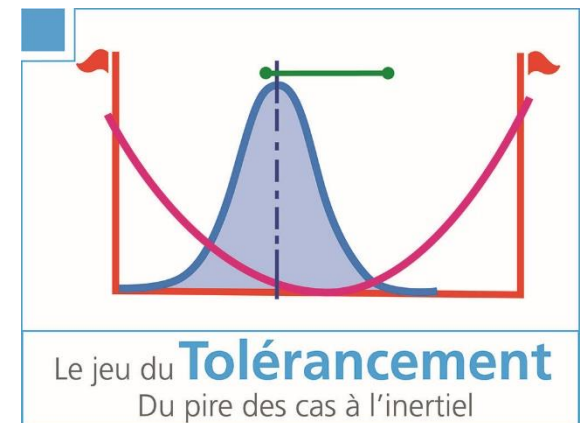
■ Mettre en place le Tolérancement Inertiel

- Calculer l'Inertie maximale admissible
- Calculer l'inertie d'un lot

■ Hiérarchiser les caractéristiques en terme de gravité

■ Faire le lien entre le mode de tolérancement et les impacts sur la production.

Le jeu du Tolérancement, du pire des cas à l'inertiel® est une **simulation physique et assistée par logiciel**



- Le jeu fonctionne bien avec un effectif compris entre 4 et 16 personnes.

- Le tableau ci-contre indique le nombre d'équipes à constituer en fonction du nombre de participants

Nombre : - de participants - d'équipes	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2 équipes	■	■	■										
3 équipes			■	■	■	■	■	■					
4 équipes					■	■	■	■	■	■	■	■	■

- Pour certains nombres de participants, deux options sont possibles

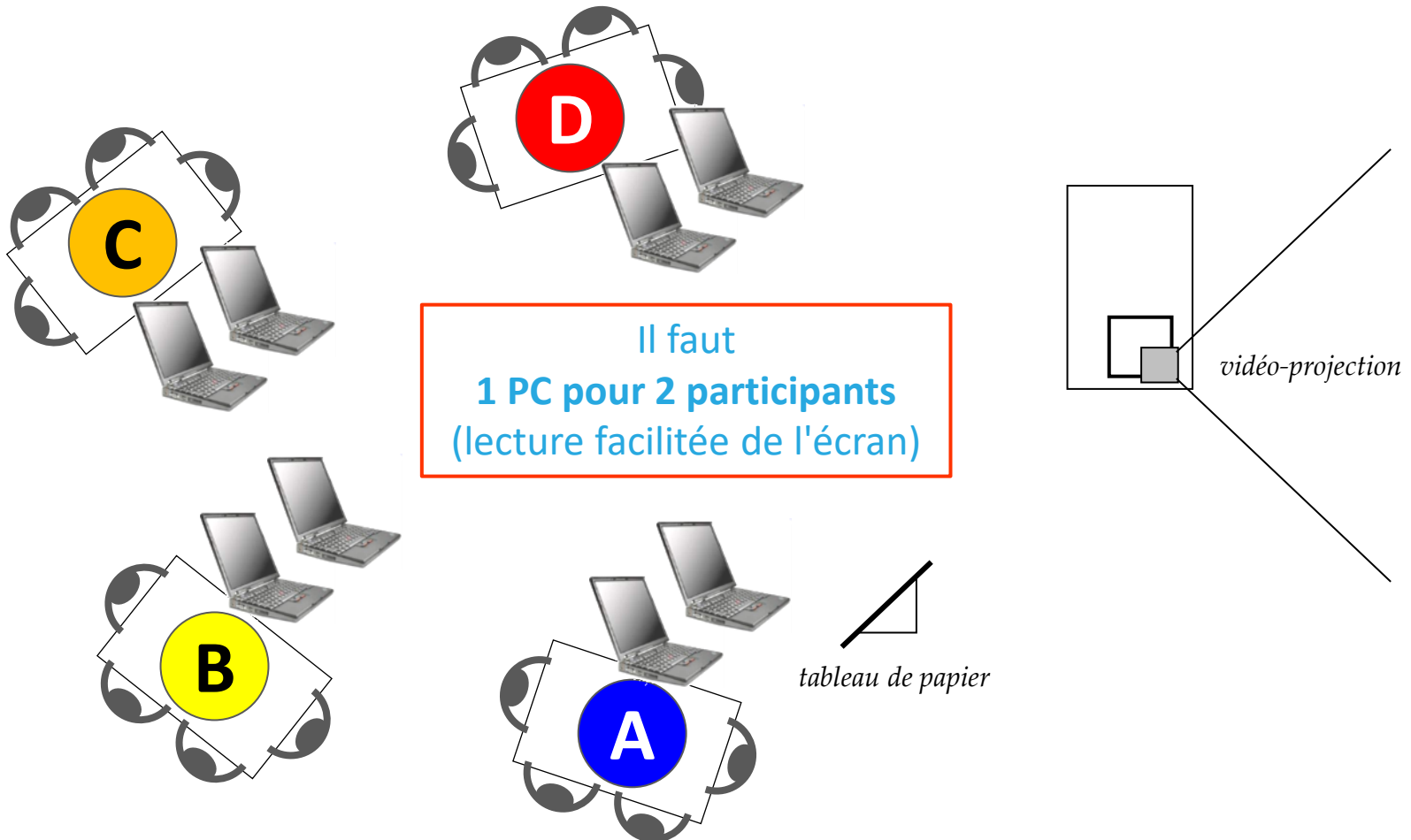
- Remarque sur le nombre maximal de participants :

- Il est possible de former un nombre de participants au-delà de 16.
- Pour cela, merci de nous contacter pour acquérir un kit complémentaire de matériels, qui vous permettra d'aller au-delà de 4 équipes.

- **Mais attention**, une animation au-delà de 4 équipes nécessitera obligatoirement un animateur **supplémentaire**.

- Pourquoi ? Car les apports pédagogiques présents dans le jeu sont importants, et il est préférable d'avoir au moins 2 animateurs pour animer au-delà de 4 équipes.

- L'animateur répartit les participants en équipes de 4 personnes maximum
- Il est nécessaire d'avoir 1 ordinateur (ce doit être un PC sous windows, et pas autre chose) pour 2 personnes (au mieux) ou sinon pour 3 personnes



■ "Le jeu du Tolérancement, Du pire des cas à l'inertiel®" est destiné à un public qui a des notions relatives :

- à l'industrie mécanique,
- au bureau d'études,
- et à la maîtrise statistique des processus.

■ Cette simulation nécessite donc quelques prérequis, dont la majeure partie figure sur le dossier du participant :

- En pages 1 et 2

■ Néanmoins :

- L'animateur circulera parmi les tables pour demander aux équipes si elles comprennent les concepts évoqués.
- En cas de besoin, il donnera les explications nécessaires.

Dossier du Participant

Le jeu du Tolérancement, Du pire des cas à l'inertiel® est un jeu créé par Maurice PILLET et édité par le CIPE, Paris
Tous droits réservés www.CIPE.fr

Ce dossier appartient à : _____

Rappels

/ Répartition d'une production
Soit une production de billes, dont on mesure l'une des caractéristiques : le diamètre.
Les mesures sont reportées sur le graphique ci-contre :
- En abscisse, les valeurs des diamètres obtenus (mm)
- En ordonnée, l'occurrence, c'est-à-dire le nombre de billes ayant un diamètre donné
Remarque : aucun processus n'est suffisamment robuste pour produire la même caractéristique. Il en ressort toujours :
- une dispersion ("tour de taille" de la courbe)
- un décentrage autour de la cible (la courbe est "décalée")
Au cours du temps, l'allure de la courbe évolue, et est plus ou moins large, et plus ou moins décentrée.

/ Causes communes & Causes spéciales

Causes spéciales

Les causes spéciales :
- Ont des sources de variation identifiables
- Sont irrégulières et instables
- Sont peu nombreuses
- Exemple : casse d'outil

Les causes communes :
- Ont de nombreuses sources de variation
- Sont toujours présentes, et en grand nombre
- Donnent la variabilité intrinsèque du procédé (courbe de gauss)
- Exemple : jeu dans la chaîne cinématique de la machine
- Il faut "vivre avec"

/ Processus "sous contrôle" & Processus "hors contrôle"

- Un processus "sous contrôle" est un processus dans lequel seules les causes communes subsistent.
- Un processus "hors contrôle" est un processus soumis à la présence de causes spéciales, et le résultat de la production ne suit donc pas nécessairement une courbe en cloche.

* LSI / LSS = Limite de Spécification Inférieure / Limite de Spécification Supérieure

Page 1

/ 6σ ("6 sigma")

L'objectif de cette démarche est d'atteindre, sur le produit livré au client, un niveau de qualité tel que le taux de défaillance soit de moins de 3,4 produits défectueux par million.
Ce taux de défaillance de 3,4 ppm peut être illustré, par exemple, par cette représentation :

/ Capabilités

La capabilité permet de caractériser la variabilité du processus de fabrication et de mesurer sa performance. C'est un nombre :

$$\text{Capabilité} = \frac{\text{Intervalle de tolérance (ce veut le client)}}{\text{Dispersion } 6\sigma \text{ (ce qu'on est capable de faire)}} = \frac{LSS - LSI}{6\sigma}$$

Cette capabilité peut être mesurée :
- à court terme (les variations des SM* sont minimisées, les conditions sont figées)
- ou à long terme (les SM changent de manière plus forte : la dispersion est donc plus forte).

Caractéristique

Voici les valeurs communément admises :

Prise en compte du centrage	Source de variabilité		
	NON	Court Terme	Long Terme
	NON	C_p	P_p
Objectifs	minimum	$C_p > 1,67$	$P_p > 1,33$
	excellence	$C_p > 2$	$P_p > 1,5$

* SM = matière, main d'œuvre, machine, méthode, milieu

Page 2

➔ Pour aller plus loin, consultez le livre "Appliquer la maîtrise statistique des processus MSP/SPC" Editions Eyrolles

Le dossier du participant

■ Objectifs :

- Aide à la mémorisation au fil de l'eau
- Dossier conservé par chaque stagiaire
- Références de livres pour aller plus loin

■ 2 premières pages = Rappels relatifs au SPC

■ 10 pages suivantes

- Déroulement des 4 chapitres de la formation
- Avec des parties à compléter, indiquées par un **pictogramme** :
- Le même numéro est présent **à l'écran** pour vous rappeler qu'il faut écrire dans le dossier

Dossier du Participant

Le jeu du Tolérancement
Du pire des cas à l'Inertiel

Le jeu du tolérancement, du pire des cas à l'inertiel™ est un jeu créé par Maurice PILLET et édité par le CIPE, nous
Tous droits réservés
www.CIPE.fr

/ Ce dossier appartient à : _____

Rappels

/ Répartition d'une production
Soit une production de billes, dont on mesure l'une des caractéristiques : le diamètre.
Les mesures sont reportées sur le graphique ci-contre :
- En abscisse, les valeurs des diamètres obtenus (mm)
- En ordonnée, l'occurrence, c'est-à-dire le nombre de billes ayant un diamètre donné

Remarque : aucun processus n'est suffisamment robuste pour produire la même caractéristique. Il en ressort toujours :
- une dispersion ("tour de taille" de la courbe)
- un décentrage autour de la cible (la courbe est "décalée")

Au cours du temps, l'allure de la courbe évolue, et est plus ou moins large, et plus ou moins décentrée.

/ Causes communes & Causes spéciales

Causes communes :
- Ont de nombreuses sources de variation
- Sont toujours présentes, et en grand nombre
- Donnent la variabilité intrinsèque du procédé (courbe de gauss)
- Exemple : jeu dans la chaîne cinématique de la machine
- Il faut "vivre avec"

Causes spéciales :
- Ont des sources de variation identifiables
- Sont irrégulières et instables
- Sont peu nombreuses
- Exemple : casse d'outil

/ Processus "sous contrôle" & Processus "hors contrôle"

- Un processus "sous contrôle" est un processus dans lequel seules les causes communes subsistent.
- Un processus "hors contrôle" est un processus soumis à la présence de causes spéciales, et le résultat de la production ne suit donc pas nécessairement une courbe en cloche.

* LSI / LSS = Limite de Spécification inférieure / Limite de Spécification Supérieure

Page 1



La vision de la qualité

Quel est le point de vue le plus important ?

Je veux des caractéristiques conformes aux plans

Je veux un produit de qualité et sans soucis

Producteur **Utilisatrice**

Le jeu du Tolérancement™, un jeu du CIPE

1

13

Durées :

1h45

1. Tolérance et Conformité

25 min

2. Tolérancement au pire des cas

1h00

3. Tolérancement statistique

1h50

4. Tolérancement inertiel

1h00

5. Hiérarchisation des caractéristiques

20 min

6. Synthèse

S/Total : 6h20

3 à 4h

(optionnel)

7. Exercice de conception fabricable

Total : 9h20 à 10h20

Contenus des chapitres

- Deux simulations sont réalisées et permettent d'introduire les modes de tolérancement, qui seront détaillées dans les chapitres suivants.
- Ce chapitre pose la problématique globale.
- Le 2^{ème} chapitre est consacré au tolérancement au pire des cas.
- Le 3^{ème} chapitre est consacré au tolérancement statistique.
- Le 4^{ème} chapitre traite du tolérancement inertiel.
- La notion d'inertie est découverte par les participants, et les méthodes de calcul sont exposées.
- Le 5^{ème} chapitre présente un aspect important lors du tolérancement, qui est la hiérarchisation des caractéristiques.
- Ce chapitre résume ce qui a été vu précédemment, en ajoutant quelques compléments sur le tolérancement inertiel corrigé et modifié.
- Cet exercice est optionnel.
- Il place les participants en position de concepteurs, ayant pour mission de définir les tolérances de 12 caractéristiques, entrant dans le bon fonctionnement de 6 jeux, dans un mécanisme regroupant 7 pièces (2 en plastique, 1 en caoutchouc, et 4 en métal).
- Les participants déroulent une méthodologie leur permettant d'aboutir à une conception la plus "fabricable" possible.

■ Quel est l'objectif du dossier de restitution ?

- Durant le jeu, les participants travaillent en équipes
- Le principe de ce dossier est de demander un travail de restitution aux équipes, après la formation avec le jeu


■ Quel est son contenu ?

- L'animateur pourra demander différentes choses aux équipes, voici quelques exemples :

Exemple 1	Chaque équipe reprend le déroulé de la formation, et dit ce qu'elle a compris de chacun des chapitres	Quel que soit le (ou les) sujet(s) donné(s) à chaque équipe, elle pourra le(s) traiter à l'aide de quelques diapos Power Point, en y insérant des captures d'écran du logiciel Ellistat, dans le but d'illustrer / argumenter ses propos
Exemple 2	Chaque équipe définit / caractérise les 3 modes de tolérancement, avec ses propres mots	
Exemple 3	Chaque équipe doit construire un argumentaire en vue de convaincre un responsable de bureau d'études des bienfaits du tolérancement inertiel	

■ Le dossier est :

- Constitué par chaque équipe (après la formation)
- Et donné à l'enseignant quelques jours après la fin de la formation (environ 10 jours)

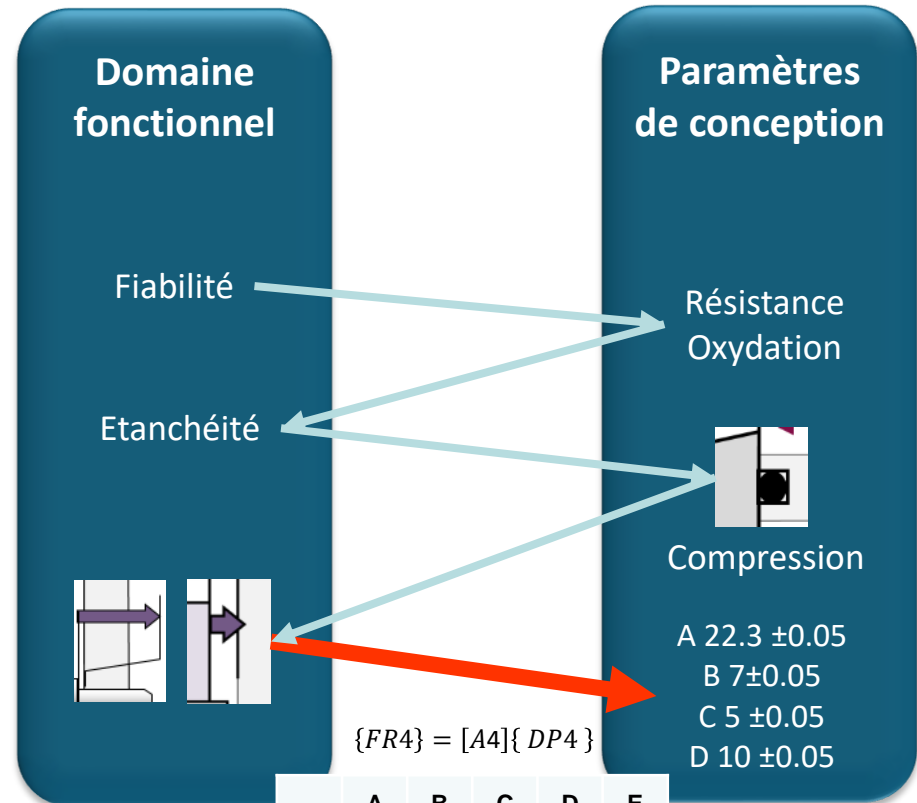
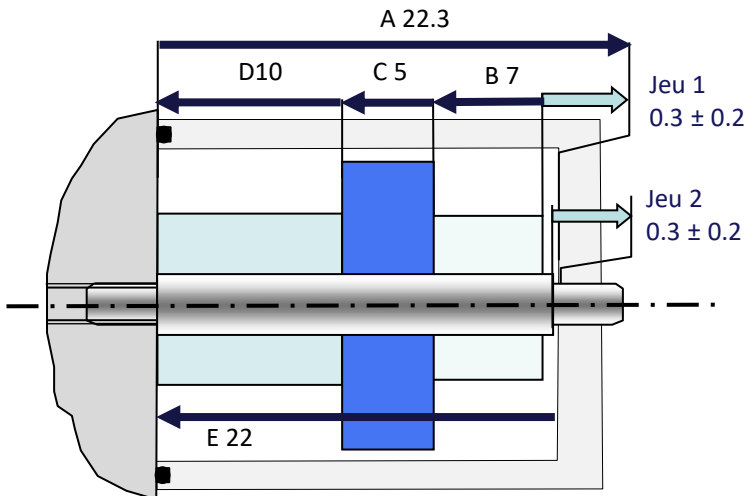
- 
- 1) Tolérance et Conformité
 - 2) Tolérancement au pire des cas
 - 3) Tolérancement statistique
 - 4) Tolérancement inertiel
 - 5) Hiérarchisation des caractéristiques
 - 6) Synthèse
 - 7) Exercice de conception fabricable



Objectifs du chapitre

- Rappeler les objectifs / enjeux du tolérancement
- Introduire les 3 modes de tolérancement

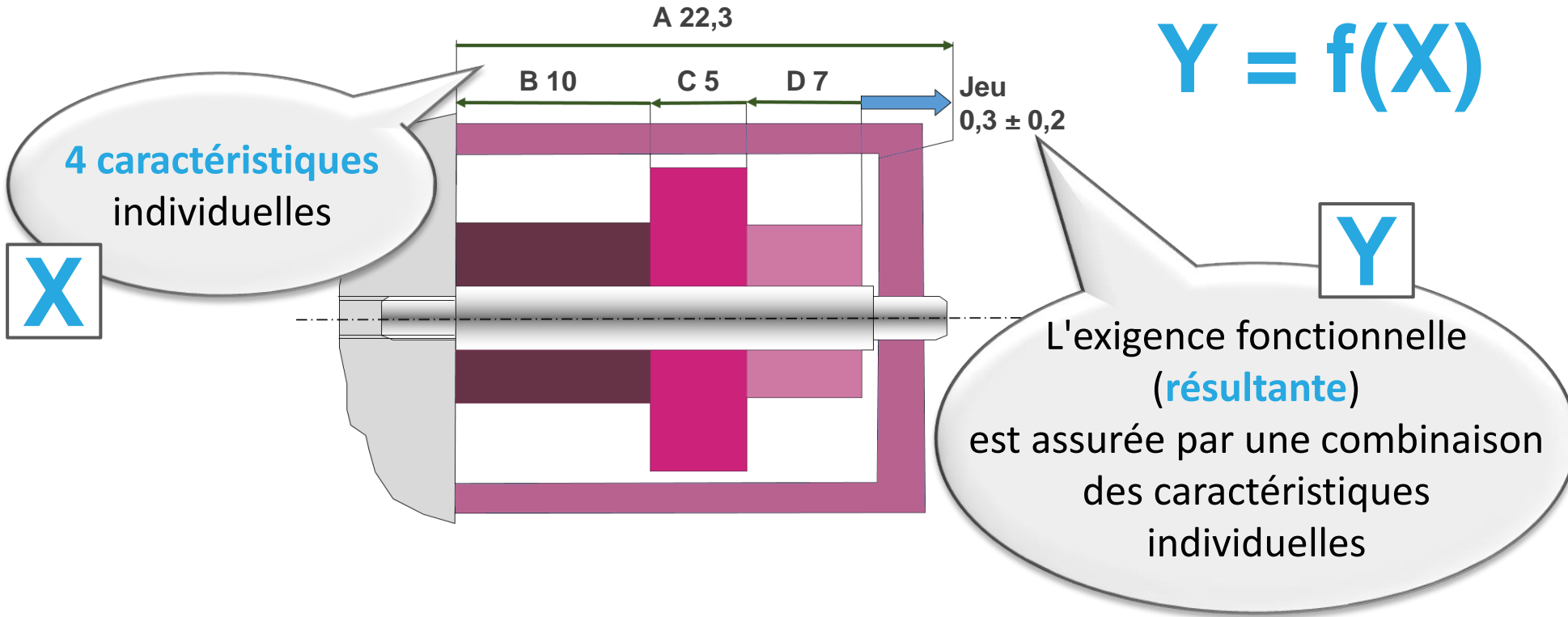
- Le jeu focalise sur la dernière étape du "zig zag process" qui a pour objectif :
 - de définir les cotes fonctionnelles
 - en vue de garantir les jeux fonctionnels



$$\{FR4\} = [A4]\{DP4\}$$

Domaine Fonctionnel	A	B	C	D	E	Domaine physique
J1	1	-1	-1	-1		
J2	1				-1	

On considère le montage mécanique suivant : 4 cotes contributrice du jeu

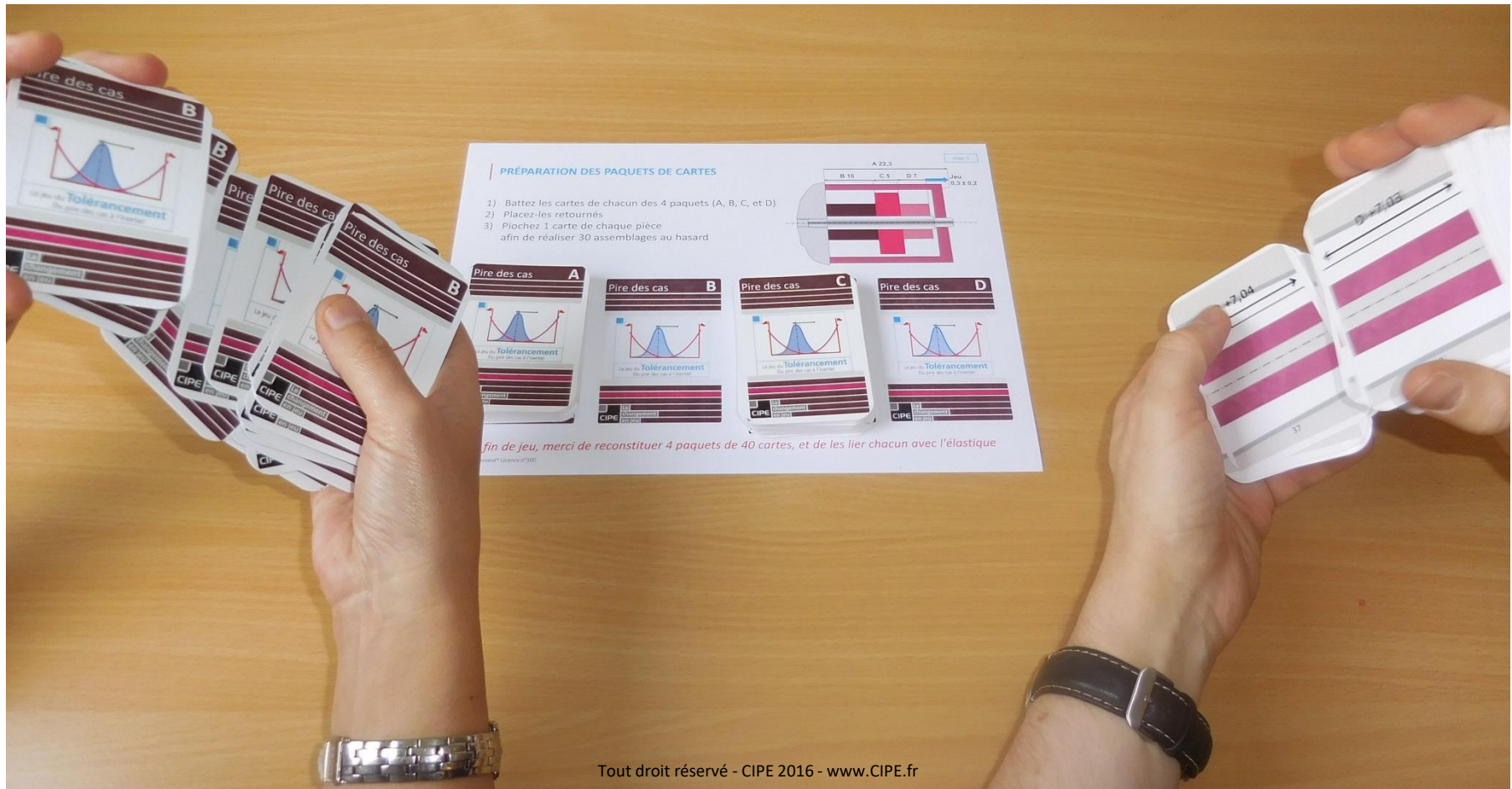


■ La question que l'on va se poser dans le jeu est la suivante :

**Comment dimensionner A, B, C, D
pour que le jeu soit conforme aux attentes ?**

Les équipes réalisent des assemblages par tirage au sort de cartes représentant les 4 cotes du jeu

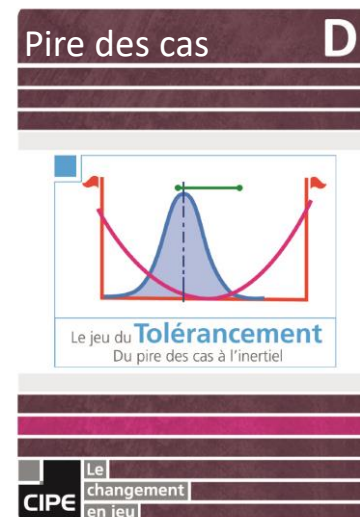
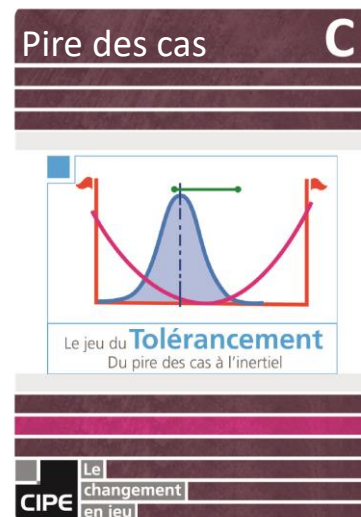
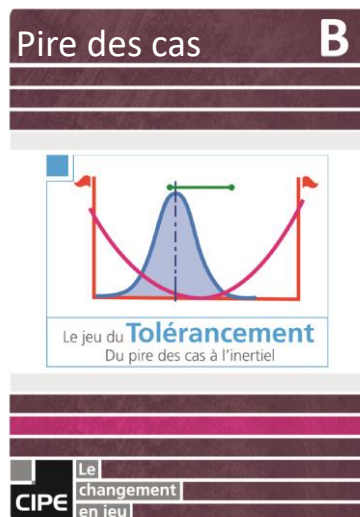
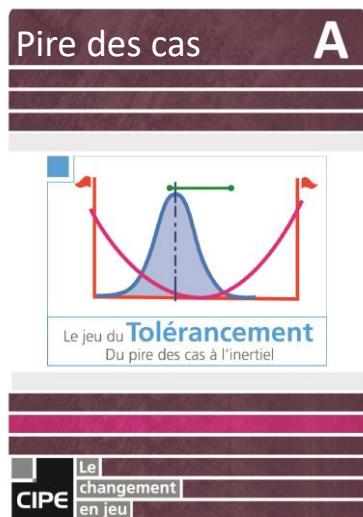
- Les 4 paquets de 40 cartes (représentant les 4 cotes) sont battus afin d'avoir un tirage de cotes au hasard
- Par ailleurs, les équipes comprennent qu'il n'y a pas de "triche" dans ces assemblages



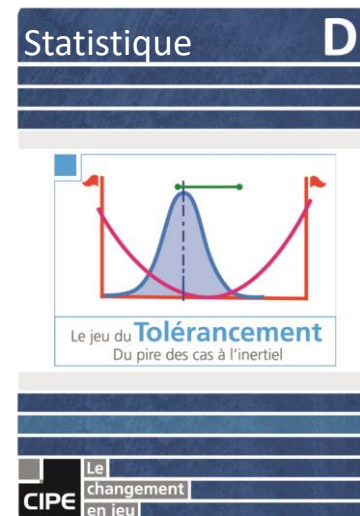
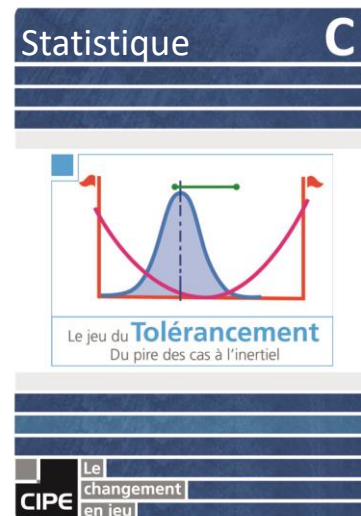
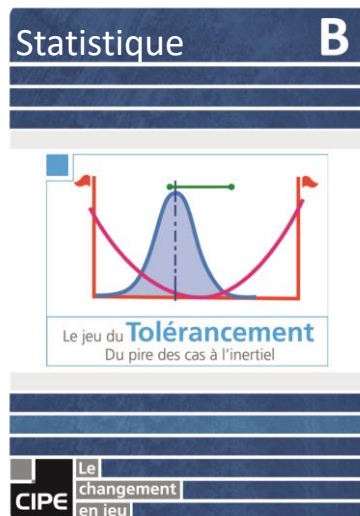
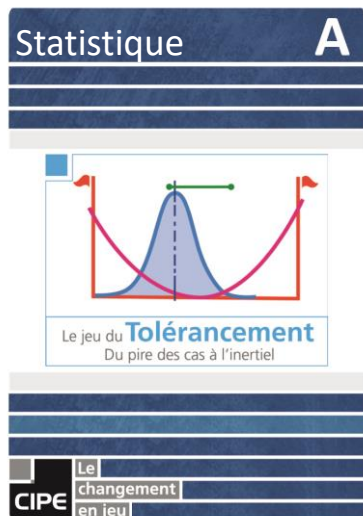
À ce stade de la simulation, 2 lots sont utilisés

Chaque équipe traite l'un ou l'autre des lots

4 paquets de cartes avec tolérancement
Au pire de cas



4 paquets de cartes avec tolérancement
Statistique



■ 30 assemblages sont réalisés



■ Les 30 valeurs de chacune des cotes sont saisies

■ Le jeu est calculé

Ellistat Fichier en cours : Chap1 1 Données Rouge Bleu.eli2

Infos Stats H Test d'hypothèses .000 % T Ouvr

LSI					0,1
LSS					0,5
Imax					
Cible					0,3
SigCT					
Répet	1	1	1	1	1

	A	B	C	D	E
Nom	A Rouge	B Rouge	C Rouge	D Rouge	Jeu Rouge
2	22,28	10,01	4,97	7,03	0,27
3	22,27	10,01	5	7,03	0,23
4	22,29	10,02	5	7,03	0,24
5	22,28	10,02	4,98	7,04	0,24
6	22,28	10,02	5,02	7,03	0,21
7	22,26	10,02	4,99	7,03	0,22
8	22,27	10,02	5	7,05	0,20
9	22,28	10,02	4,99	7,02	0,25
10	22,28	10,02	4,98	7,03	0,25
11	22,3	10,01	5,01	7,03	0,25
12	22,28	10,01	4,98	7,02	0,27
13	22,27	10,02	4,99	7,04	0,22
14	22,27	10,02	4,99	7,03	0,23
15	22,29	10	4,98	7,04	0,27
16	22,27	10,02	5	7,03	0,22
17	22,26	10,01	5	7,03	0,22
18	22,28	10,04	4,99	7,03	0,22
19	22,28	10,01	5,02	7,03	0,22
20	22,28	10,01	5,01	7,03	0,23
21	22,27	10,02	4,99	7,02	0,24
22	22,27	10,01	5,04	7,03	0,19
23	22,28	10,02	4,97	7,02	0,27
24	22,27	10,03	4,98	7,03	0,23
25	22,27	10,02	5	7,02	0,23
26	22,27	10,01	4,99	7,03	0,24
27	22,28	10	5,01	7,03	0,24
28	22,27	10,03	5,01	7,03	0,20
29	22,27	10,01	5	7,03	0,23
30	22,28	10,01	5	7,03	0,24
31	22,28	10,01	5,01	7,04	0,22
32					

Navigation menu: ACCUEIL, ASSISTANT, CONCEPTION, NOUVEAU, GRR, OUVRIER, GRAPHIQUES, SAUVER, STATISTIQUES DESCRIPTIVES, SAUVER SOUS, STATISTIQUES INFÉRENTIELLES, HISTORIQUE, PLAN D'EXPERIENCE, PARAMÈTRES, OUTILS SHAININ, PLAN DE CONTROLE, FIABILITE

Le logiciel permet l'analyse statistique de chacun des lots ainsi que de celui du jeu

Ellistat Fichier en cours : Chap1 1 Données Rouge Bleu.eli2

- ACCUEIL
- CONCEPTION
- GRR
- GRAPHIQUES
- STATISTIQUES DESCRIPTIVES
- STATISTIQUES INFERENTIELLES
- PLAN D'EXPERIENCE
- OUTILS SHAININ
- PLAN DE CONTROLE
- FIABILITE
- TABLEAU
- RÉSUMÉ STATS
- DÉTAILS
- PROP HT
- LOIS CONTINUES
- DISCONTINUES
- CARTES ATTRIBUTS
- CARTE T²

	Fact	Répét	Datas
A	A Rouge	1	<input checked="" type="checkbox"/>
B	B Rouge	1	<input checked="" type="checkbox"/>
C	C Rouge	1	<input checked="" type="checkbox"/>
D	D Rouge	1	<input checked="" type="checkbox"/>
E	Jeu Rouge	1	<input checked="" type="checkbox"/>
G	A Bleu	1	<input checked="" type="checkbox"/>
H	B Bleu	1	<input checked="" type="checkbox"/>
I	C Bleu	1	<input checked="" type="checkbox"/>
J	D Bleu	1	<input checked="" type="checkbox"/>
K	Jeu Bleu	1	<input checked="" type="checkbox"/>

A Rouge

LSL USL

Xb 22.2... S 0.00...

Pp Ppk

%NCI

B Rouge

LSL USL

Xb S

Pp Ppk

%NCI

C Rouge

LSL USL

Xb S

Pp Ppk

%NCI

D Rouge

LSL USL

Xb S

Pp Ppk

%NCI

Jeu Rouge

LSL USL

Xb S

Pp Ppk

%NCI

A Bleu

LSL USL

Xb 10.0... S 0.019

Pp Ppk

%NCI %NCu

B Bleu

LSL USL

Xb 4.999 S 0.028

Pp Ppk

%NCI %NCu

C Bleu

LSL USL

Xb 7.058 S 0.019

Pp Ppk

%NCI %NCu

D Bleu

LSL USL

Xb S

Pp Ppk

%NCI %NCu

PARAMÈTRES		
NOMBRE	INTERVALLE À 95%	
	min max	
Médiane	0.1650 0.1834	
Moyenne	0.1660 0.1498 0.1834	
Sigme LT	0.0466 0.0371 0.0626	
Sigme CT	0.0504 0.0401 0.0677	
Inertie	0.1419 Valeur Valeur	
Dispersion	0.2785 0.0700 0.2600	
CAPABILITÉS		
Z process	Capabilité mini (9...	
Cp	1.32 1,03	
Pp	1.43 1,12	
Ppk	0.47 0,33	
Ppm	0.47 0,42	
Ppi		
% HORS TOLÉRANCES		
Hors Mini	Hors M. 0.0000 %	
	7.8252	
ANALYSE DE NORMALITÉ		
Test pertinent	Anders...	CONCLUSIONS
p chi²	0.821	
p Anderson	0.889	Loi normale a cce...
Skewness	-0.08	Symétrique
Kurtosis	2.50	
Valeurs abe...	NON	
Min Grubb	0.0306	Pas de valeur abe...
Max Grubb	0.3015	Pas de valeur abe...
Dixon Thakor	0.00 %	
Dixon Obser	0.00 %	Pas de valeur abe...

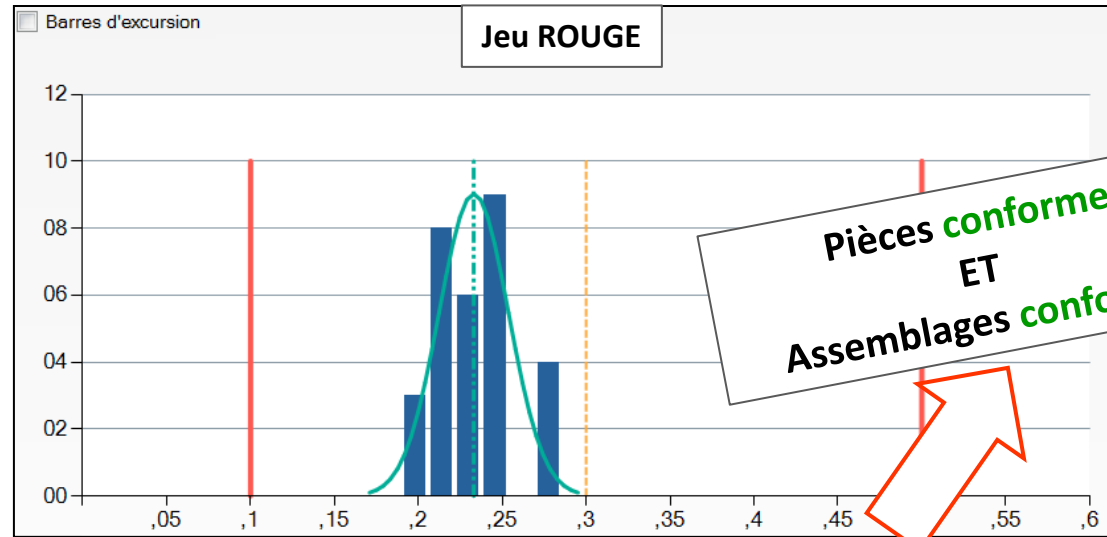
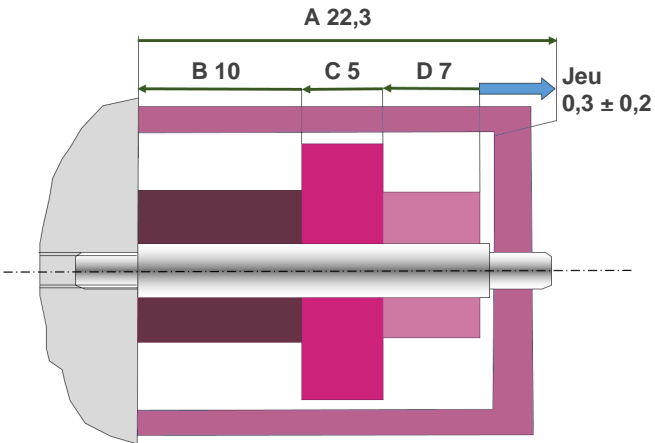
Statistiques Descriptives

Col	Intitulés	X1	Label	X2	Label	Répétitions	Nb lignes	Cible	Tolérance inertielle	Tolérance Min	Tolérance Max	Siema CT
0	A Rouge					1	1					
1	B Rouge					1	1					
2	C Rouge					1	1					
3	D Rouge					1	1					
4	Jeu Rouge					1	1	0.3		0.1	0.5	
6	A Bleu					1	1					
7	B Bleu					1	1					
8	C Bleu					1	1					
9	D Bleu					1	1					
10	Jeu Bleu					1	1	0.3		0.1	0.5	

p value = 0.889

Les équipes arrivent à la conclusion suivante

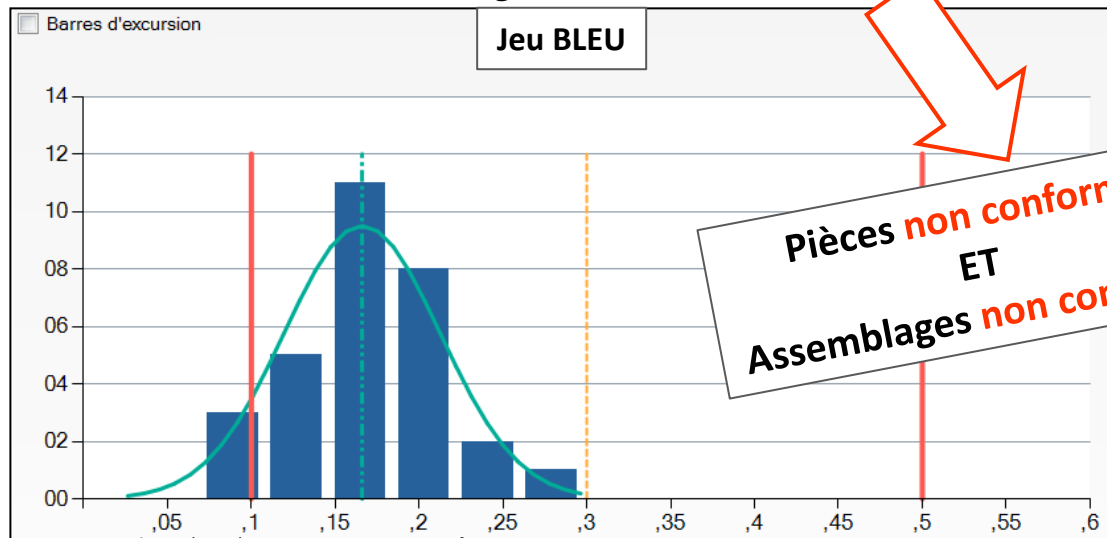
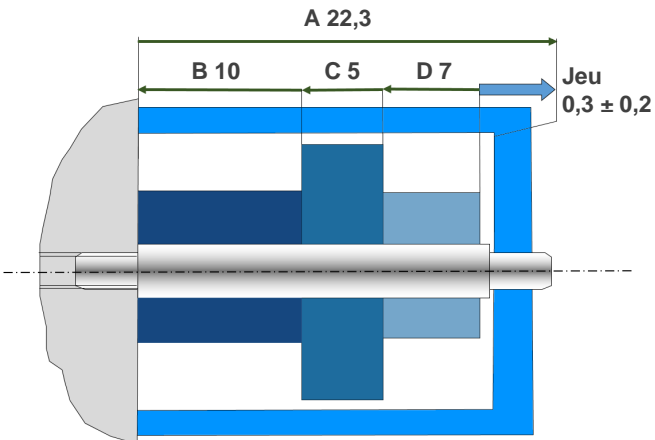
Tolérancement Au pire de cas



**Pièces conformes
ET
Assemblages conformes**

**La conclusion semble triviale,
mais est-ce toujours vrai ?**

Tolérancement Statistique

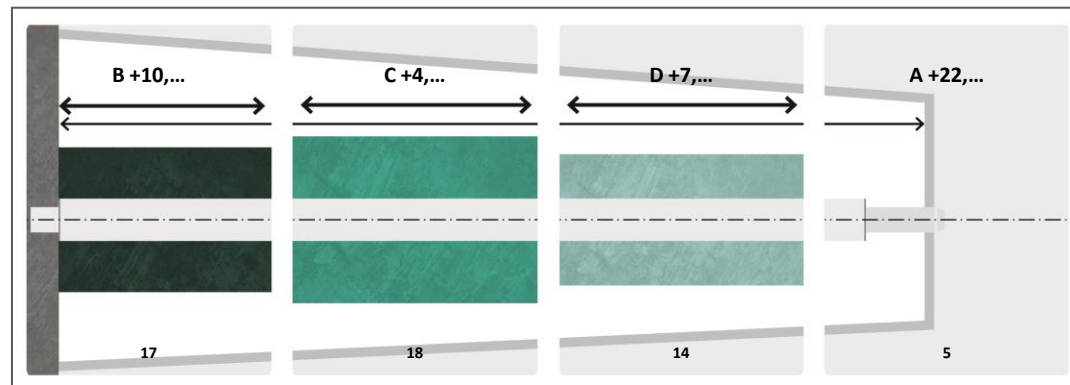
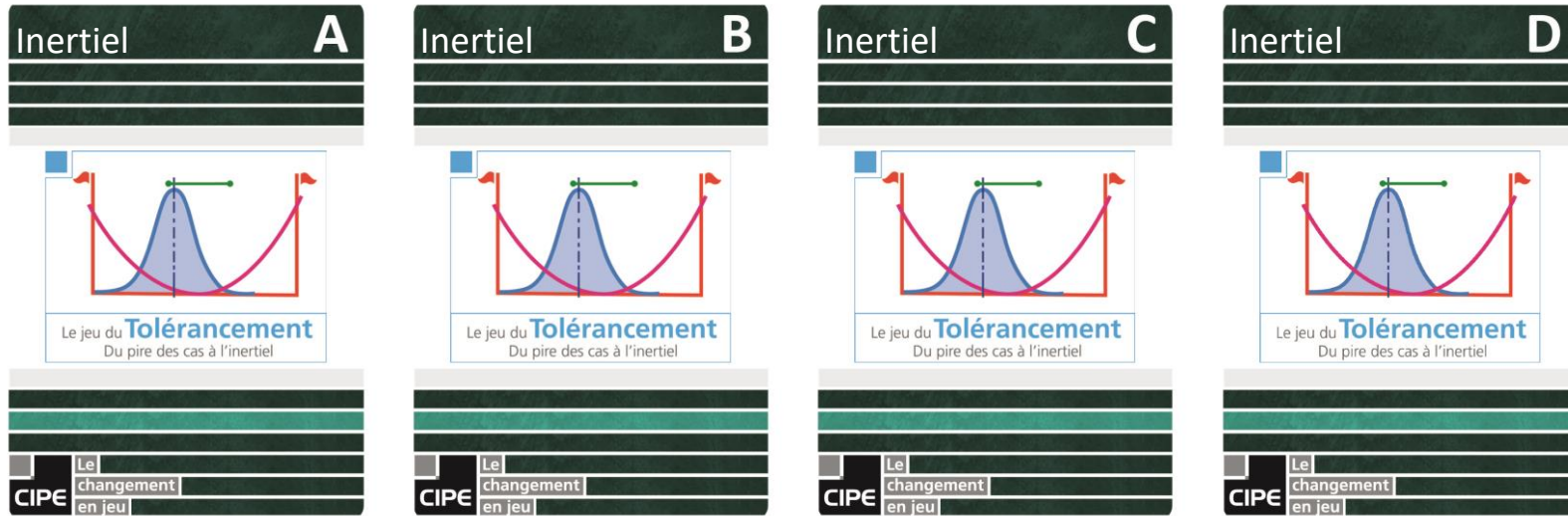


**Pièces non conformes
ET
Assemblages non conformes**

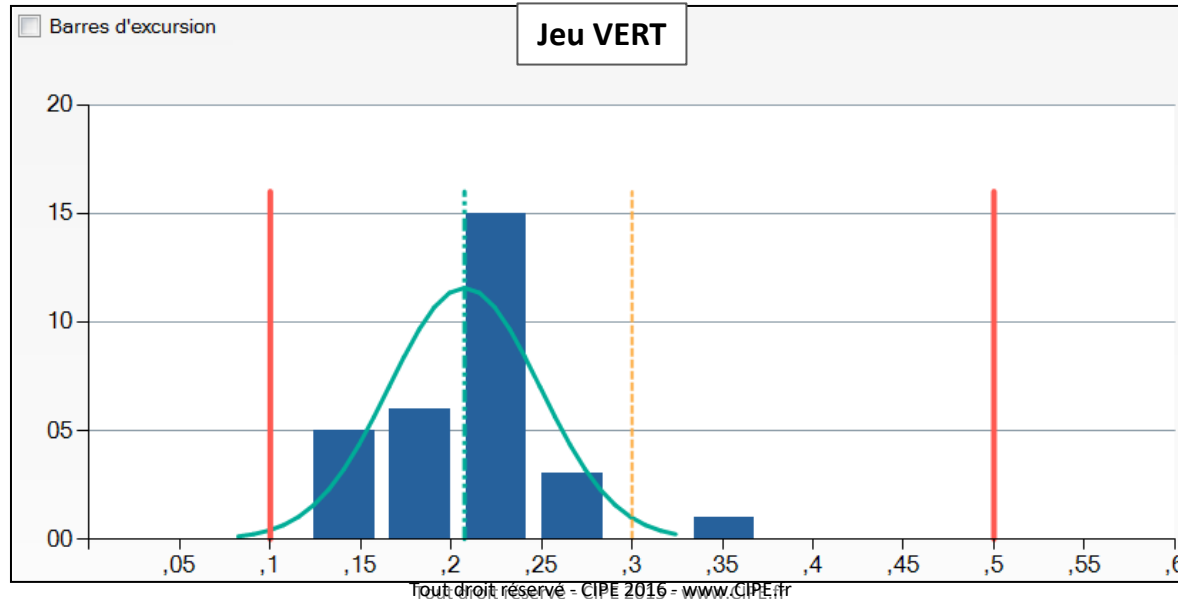
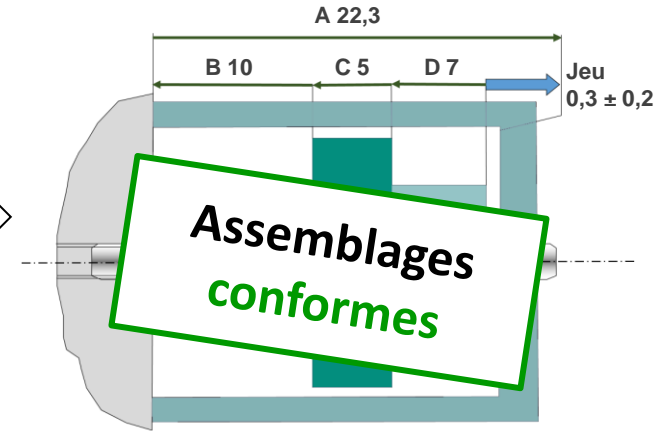
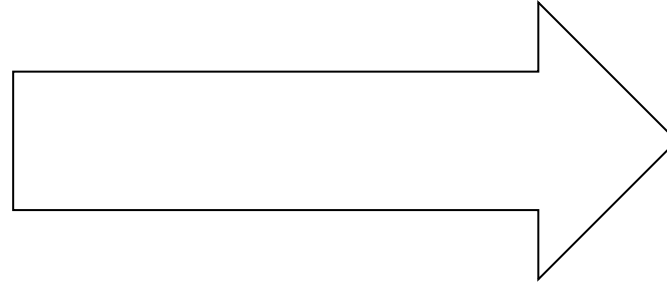
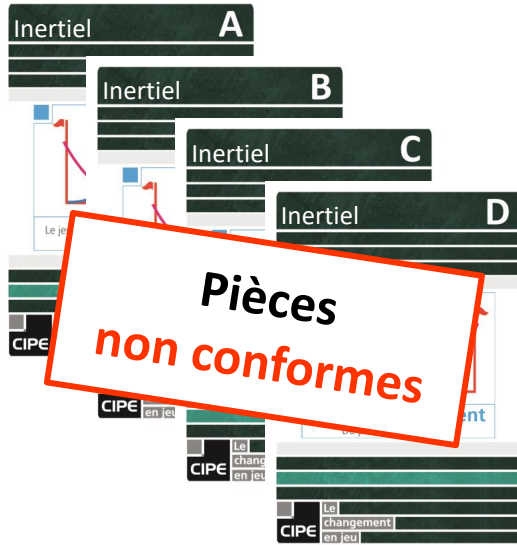
Les équipes simulent 30 nouveaux assemblages à partir de nouveaux jeux de cartes

- Toutes les équipes traitent les lots avec tolérancement inertiel

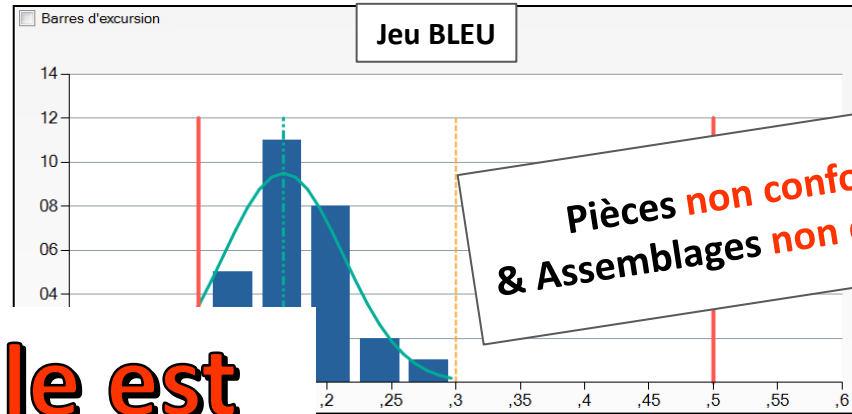
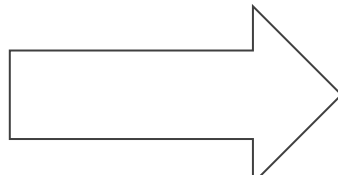
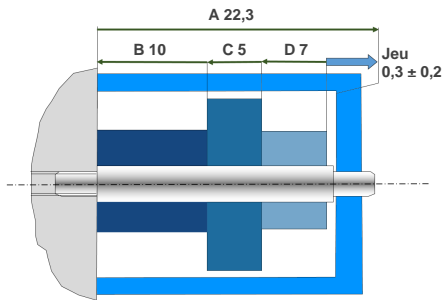
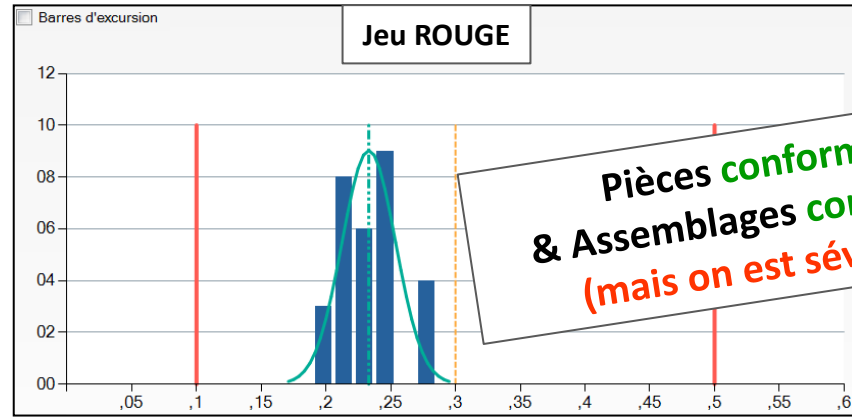
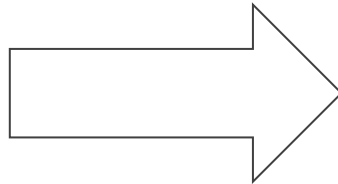
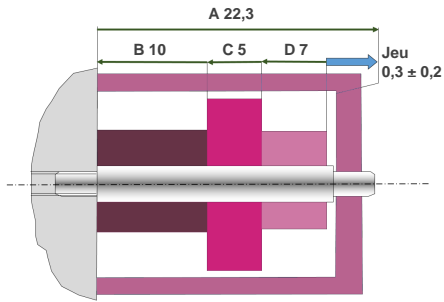
4 paquets de cartes avec tolérancement Inertiel



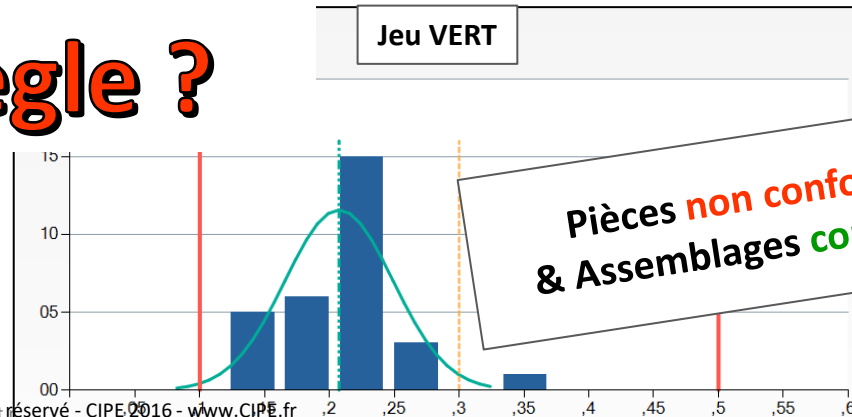
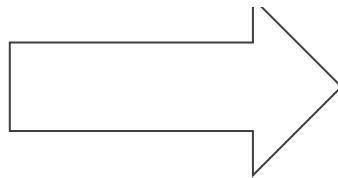
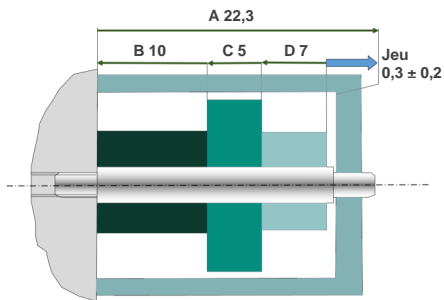
Les assemblages avec tolérancement inertiel des cotes conduisent à une conclusion pour la moins surprenante ...



La conclusion autour des 3 lots amène la question suivante :



Quelle est la règle ?

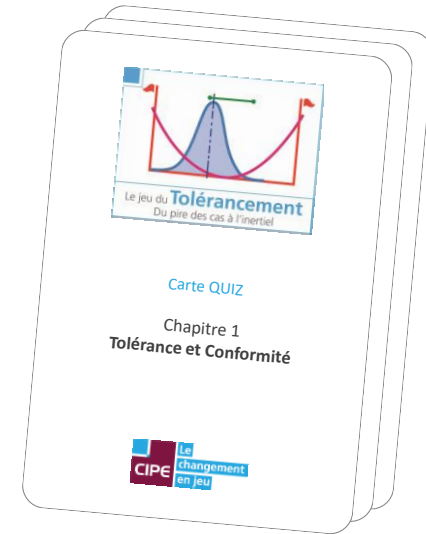
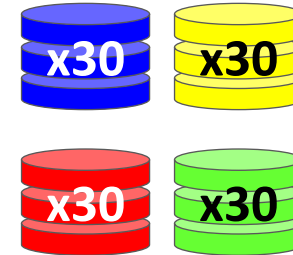
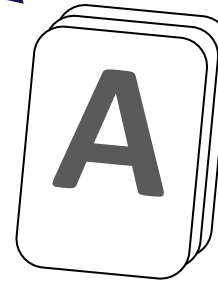


À la fin de chaque chapitre, les équipes évaluent leurs connaissances en se posant mutuellement des quiz

■ Chaque équipe reçoit :

- Un chevalet
- Un capital de 30 jetons de départ
- Un jeu de 3 cartes réponses
- Trois ou quatre cartes quiz (tirées au sort)

Équipe A



■ À la fin de chaque chapitre, chaque équipe pose 1 question (de son choix) aux autres équipes.

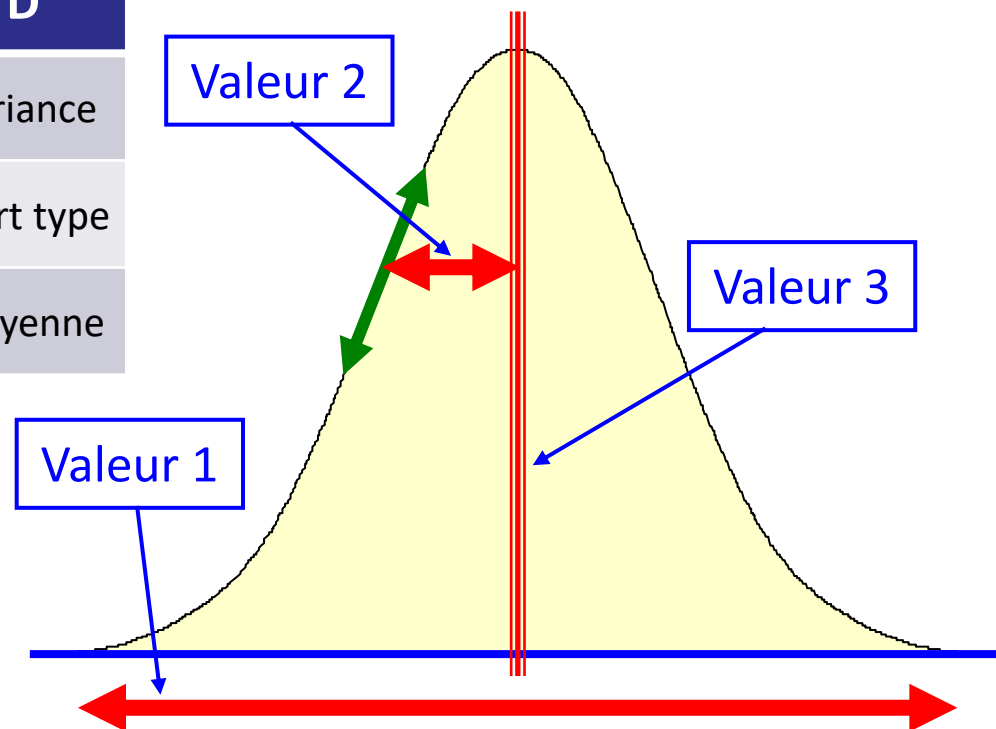
L'équipe qui pose la question :

- **Reçoit** un jeton de chaque équipe dont la réponse est **fausse**
- **Donne** un jeton à chaque équipe dont la réponse est **juste**

■ L'équipe gagnante est celle qui a le plus de jetons à la fin des questions.

■ D'après le schéma ci-dessous, quelle est la colonne exacte ?

	A	B	C	D
Valeur 1	Ecart type	Variance	Etendue	Variance
Valeur 2	Etendue	Ecart type	Ecart type	Ecart type
Valeur 3	Moyenne	Etendue	Moyenne	Moyenne



■ Réponse :

– C

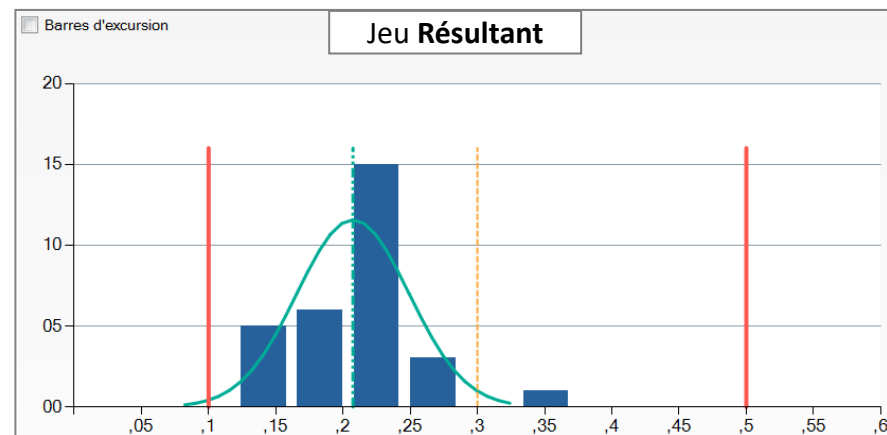
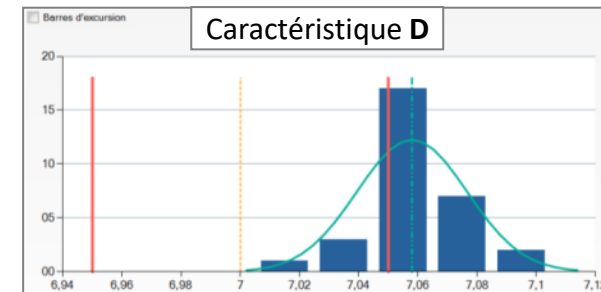
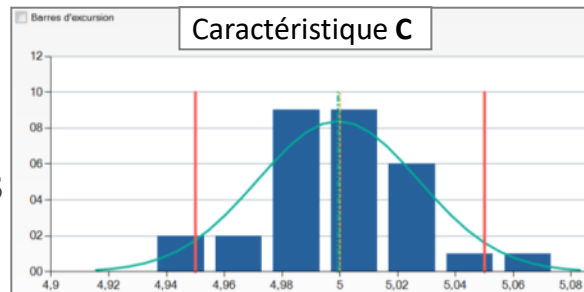
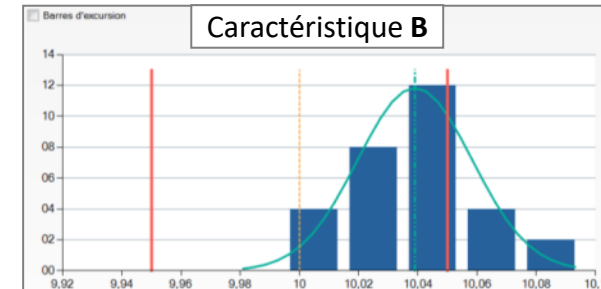
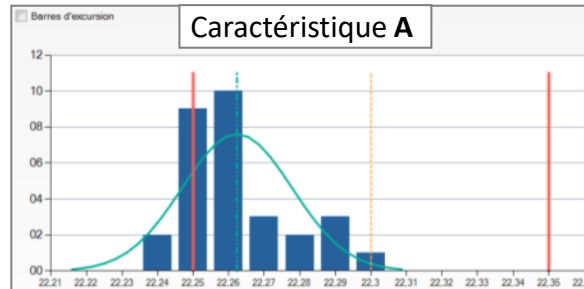
Exemple de question sur le chapitre 1

■ Comment peut-on caractériser la situation ci-contre ?

- A. Caractéristiques conformes et Résultante conforme
- B. Caractéristiques conformes et Résultante non conforme
- C. Caractéristiques non conformes et Résultante conforme
- D. Caractéristiques non conformes et Résultante non conforme
- E. Aucune de ces réponses

■ Réponse :

— C



- 1) Tolérance et Conformité
- ➔ 2) Tolérancement au pire des cas
- 3) Tolérancement statistique
- 4) Tolérancement inertiel
- 5) Hiérarchisation des caractéristiques
- 6) Synthèse
- 7) Exercice de conception fabricable



Objectif du chapitre

Décrire les spécificités
du tolérancement au pire des cas,
y compris ses limites

Pire des cas :

Σ tolérances = Tolérance condition

Σ Tolérances X = Tolérance Y

■ Combien valent les tolérances sur A, B, C et D ?

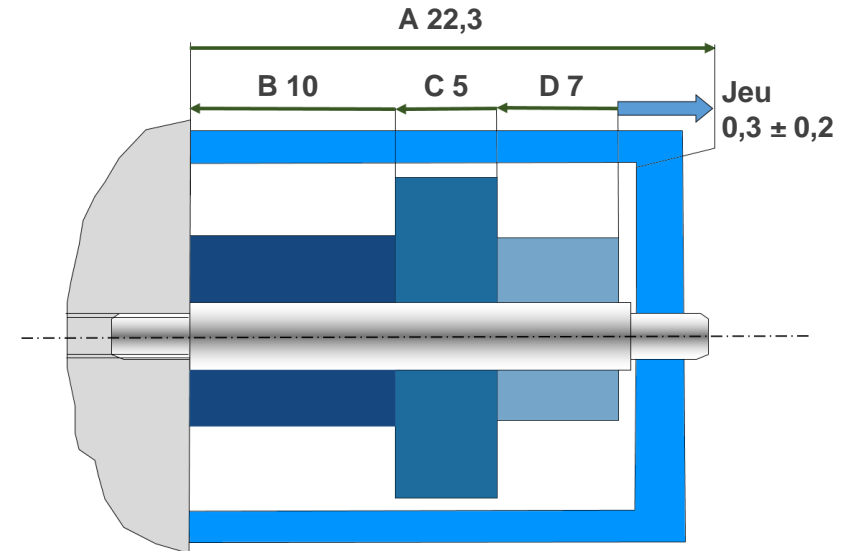
$$\text{Tolérance X} = \frac{\text{Tolérance Y}}{\text{Nb de pièces}} = \frac{0,4}{4} = 0,1$$

■ Quel est l'inconvénient de diviser par le nombre de pièces ?

- Le tolérancement au pire des cas divise la tolérance de la condition par le nombre d'éléments dans la chaîne de cotes
- Donc, plus il y a de pièces, plus l'intervalle de tolérance sera faible !

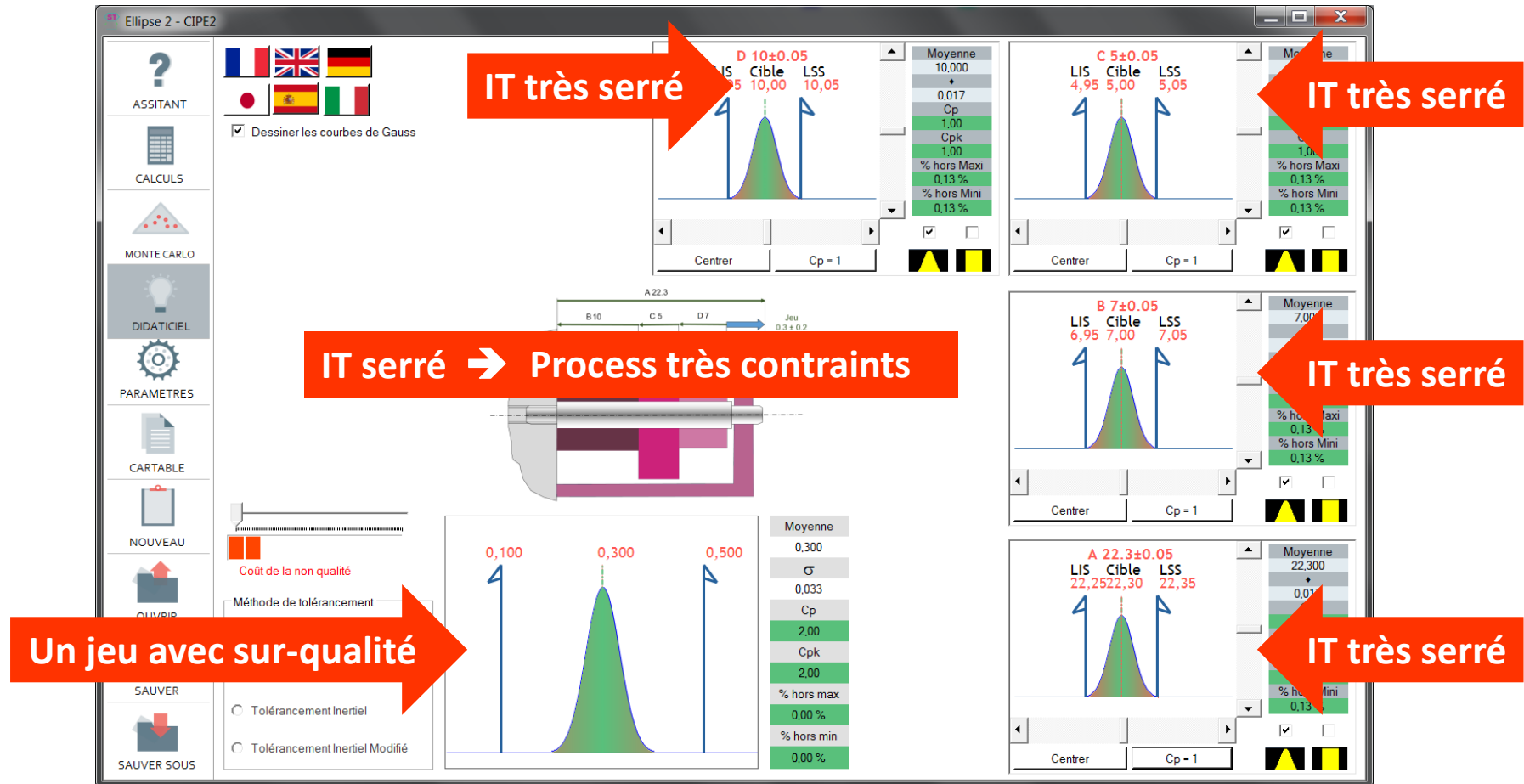
■ Rappel : "au pire des cas" signifie qu'on est certain que ça fonctionne

- zéro non-conformité sur l'assemblage



Conclusion : les limites du tolérancement au pire des cas

Que pensez-vous de cette situation ?



- La division de l'intervalle de tolérance sur la cote condition conduit à des tolérances très serrées sur les caractéristiques élémentaires.
- En cas de production bien conduite, la qualité demandée est **très supérieure** au juste nécessaire.

- 1) Tolérance et Conformité
- 2) Tolérancement au pire des cas
- ➔ 3) Tolérancement statistique
- 4) Tolérancement inertiel
- 5) Hiérarchisation des caractéristiques
- 6) Synthèse
- 7) Exercice de conception fabricable

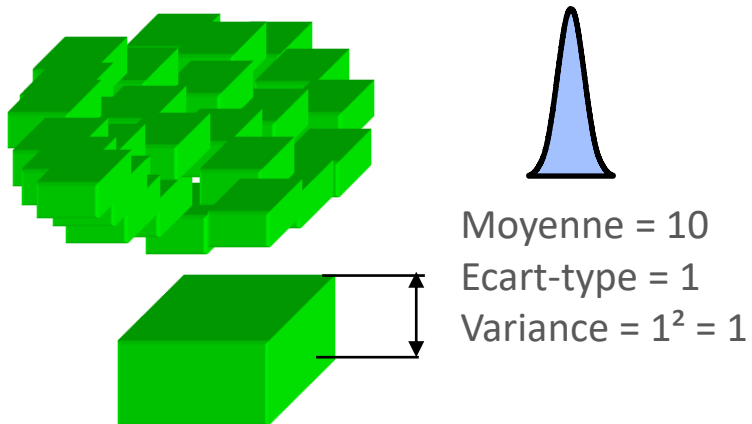
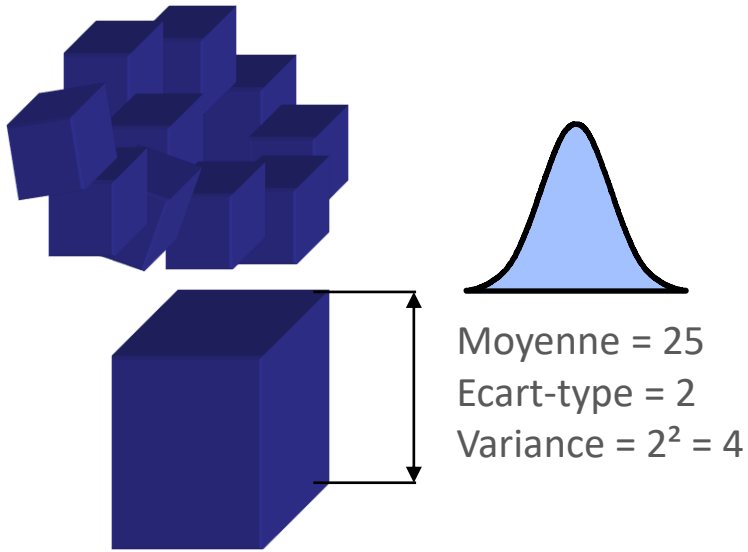


Objectif du chapitre

Décrire les spécificités
du tolérancement statistique,
y compris ses limites

Un exercice est donné aux équipes, afin de déterminer les règles d'additivité des paramètres

- Soit deux lots de cubes, avec leurs caractéristiques statistiques :



chap. 3

Exercice 3 : Additivité des paramètres

Soit deux lots de cubes, avec leurs caractéristiques statistiques. Calculez la moyenne et l'écart-type, dans le cas : 1) D'une addition, et 2) D'une soustraction

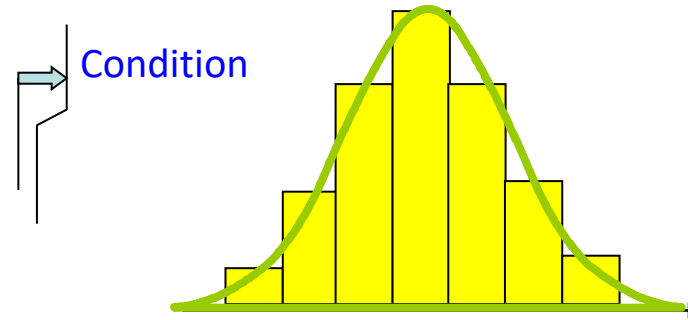
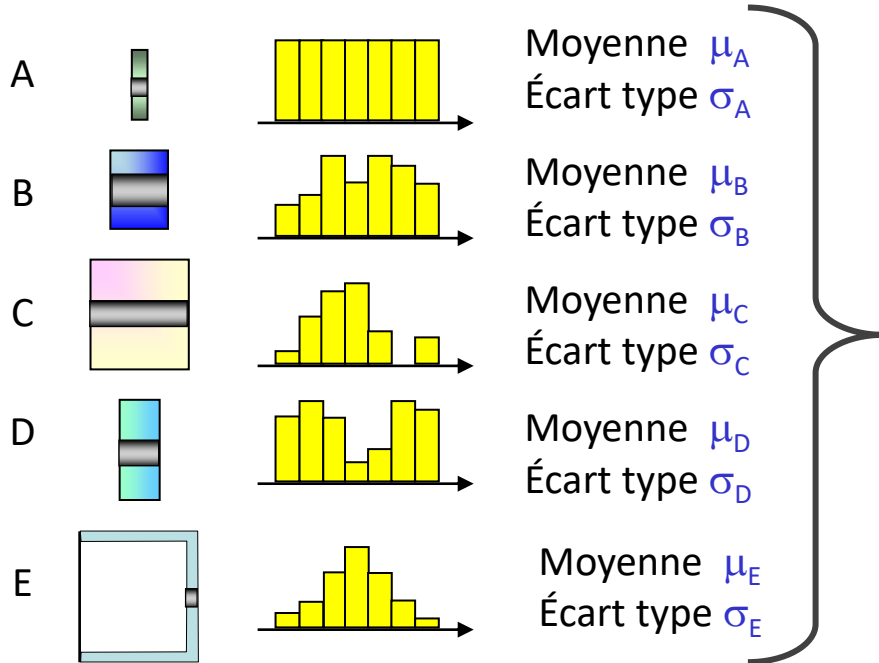
Moyenne = 25
Ecart-type = 2
Variance = $2^2 = 4$

Moyenne = 10
Ecart-type = 1
Variance = $1^2 = 1$

Moyenne = 35
Ecart-type = 2.5

Moyenne = 15
Ecart-type = 1.5

Le jeu du Tolérancement® Licence n°100

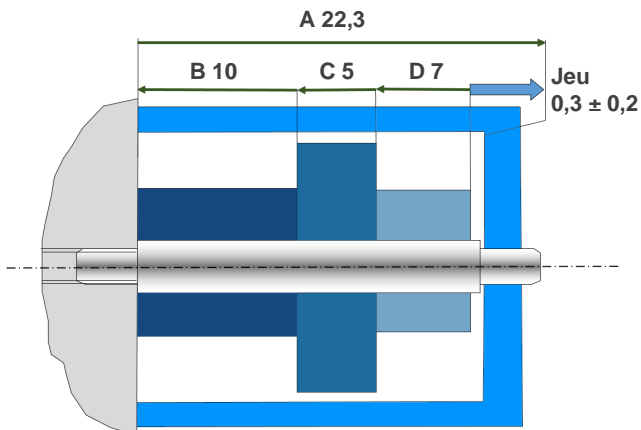


$$\text{Moyenne} = \mu_E - (\mu_A + \mu_B + \mu_C + \mu_D)$$

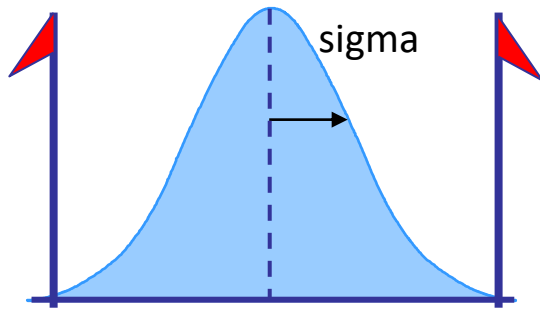
$$\text{Variance} = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \sigma_C^2 + \sigma_D^2 + \sigma_E^2$$

$$\text{Moyenne } Y = \sum \text{moyennes } X \text{ (avec signes)}$$

$$\text{Variance } Y = \sum \text{variances } X$$



Quelles que soient les distributions sur A, B, C, D (Hypothèse : Indépendance)



On peut admettre une relation de **proportionnalité** entre l'écart type et la tolérance

En résumé :

■ Tolérance = $k \sigma$

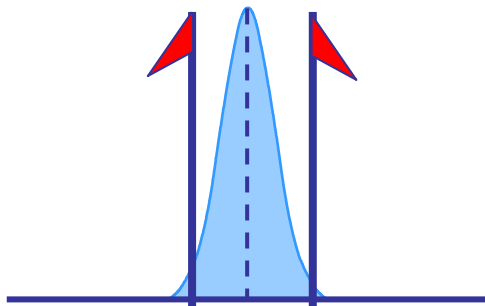
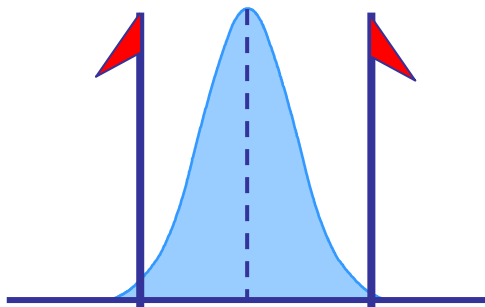
■ $\sigma_{\text{JEU}}^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \sigma_C^2 + \sigma_D^2$

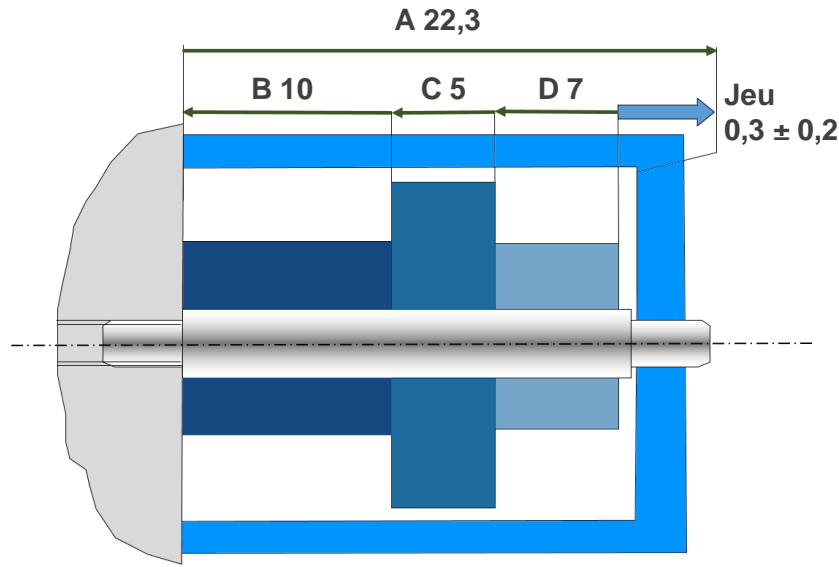
■ Dans ces conditions, quelle est la formule de calcul de la Tolérance du JEU, à partir des Tolérances des pièces ?

■ Tolérance² = $k^2 \sigma^2$

■ Tolérance_{JEU}² = $k^2 \sigma_A^2 + k^2 \sigma_B^2 + k^2 \sigma_C^2 + k^2 \sigma_D^2$

■ Tolérance_{Jeu}² = $\Sigma \text{Tolérance}^2$





Tolérancement au Pire des cas

☞ Σ tolérances = Tolérance condition

$$\text{Tolérance X} = \frac{\text{tolérance Y}}{n} = 0.1$$

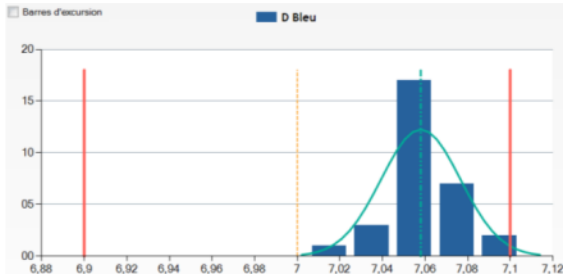
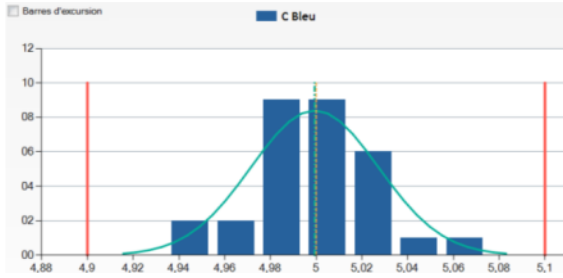
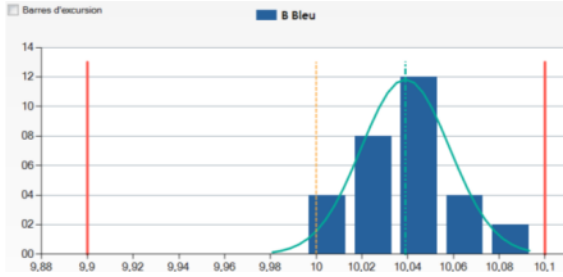
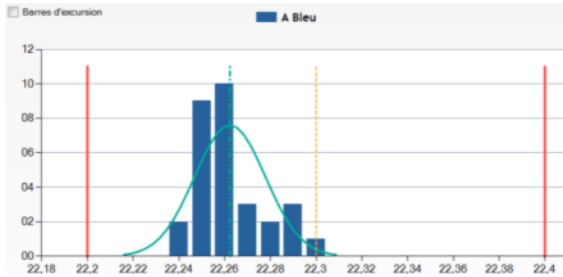
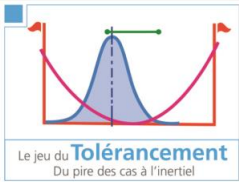
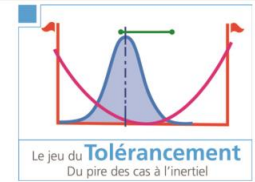
Tolérancement Statistique

☞ Σ tolérances² = Tolérance condition²

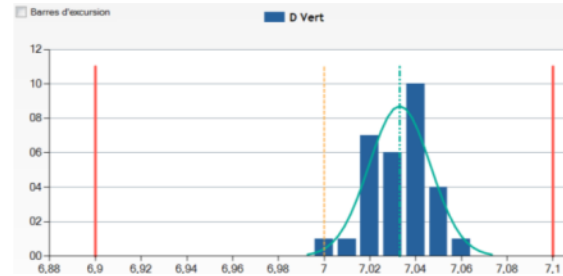
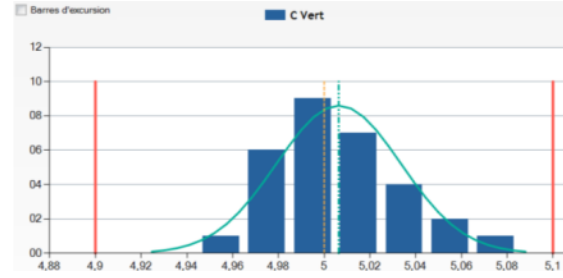
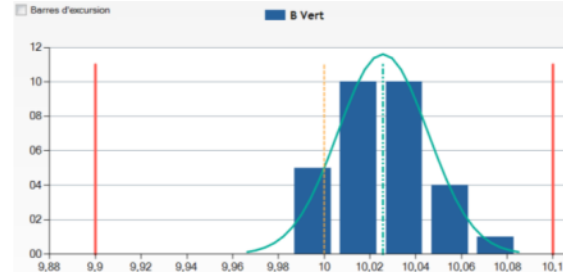
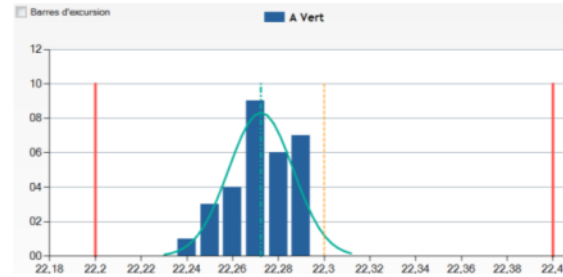
$$\text{Tolérance X} = \frac{\text{tolérance Y}}{\sqrt{n}} = 0.2$$

On a multiplié la
tolérance par \sqrt{n}

Conclusion : on a élargi les tolérances de $\sqrt{n} = \sqrt{4} = 2$



Le lot BLEU est devenu bon.
Mais le jeu est mauvais !



Le lot VERT est devenu bon
(on accepte désormais à raison).

Le jeu est resté bon

Les équipes doivent trouver une règle :

- Mettez-vous en tolérancement statistique
- Essayez de trouver une règle qui fasse qu'on ait **toujours un jeu conforme**

Ellipse 2 - CIPE2

ASSITANT
CALCULS
MONTE CARLO
DIDATICIEL
PARAMETRES
CARTABLE
NOUVEAU
OUVRIR
SAUVER
SAUVER SOUS

Langues: France, Royaume-Uni, Allemagne, Japon, Espagne, Italie

Dessiner les courbes de Gauss

Part D 10±0.1

Moyenne	10,000
σ	0,033
Cp	1,01
Cpk	1,01
% hors Maxi	0,12 %
% hors Mini	0,12 %

Part C 5±0.1

Moyenne	5,000
σ	0,033
Cp	1,00
Cpk	1,00
% hors Maxi	0,13 %
% hors Mini	0,13 %

Part A 22.3±0.1

Moyenne	22,300
σ	0,033
Cp	1,00
Cpk	1,00
% hors Maxi	0,13 %
% hors Mini	0,13 %

Part B 7±0.1

Moyenne	7,000
σ	0,033
Cp	1,00
Cpk	1,00
% hors Maxi	0,13 %
% hors Mini	0,13 %

Part A 22.3

Moyenne	0,300
σ	0,067
Cp	1,00
Cpk	1,00
% hors max	0,13 %
% hors min	0,13 %

Jeu: 0.3 ± 0.2

Méthode de tolérancement:
 Tolérancement au Pire des cas
 Tolérancement statistique
 Tolérancement Inertiel
 Tolérancement Inertiel Modifié

Coût de la non qualité

Les équipes doivent trouver une règle : elles utilisent le didacticiel

- Celui-ci permet de jouer sur les répartitions (dispersion et décentrage) des 4 caractéristiques, et de voir immédiatement l'impact sur le jeu résultant

Graph 1 (Top Left):

Moyenne	10,077
σ	0,053
Cp	0,63
Cpk	0,15
% hors Maxi	32,91 %
% hors Mini	0,04 %

Graph 2 (Top Right):

Moyenne	4,958
σ	0,017
Cp	2,00
Cpk	1,17
% hors Maxi	0,00 %
% hors Mini	0,02 %

Graph 3 (Middle Right):

Moyenne	7,025
σ	0,017
Cp	2,00
Cpk	1,51
% hors Maxi	0,00 %
% hors Mini	0,00 %

Graph 4 (Bottom Right):

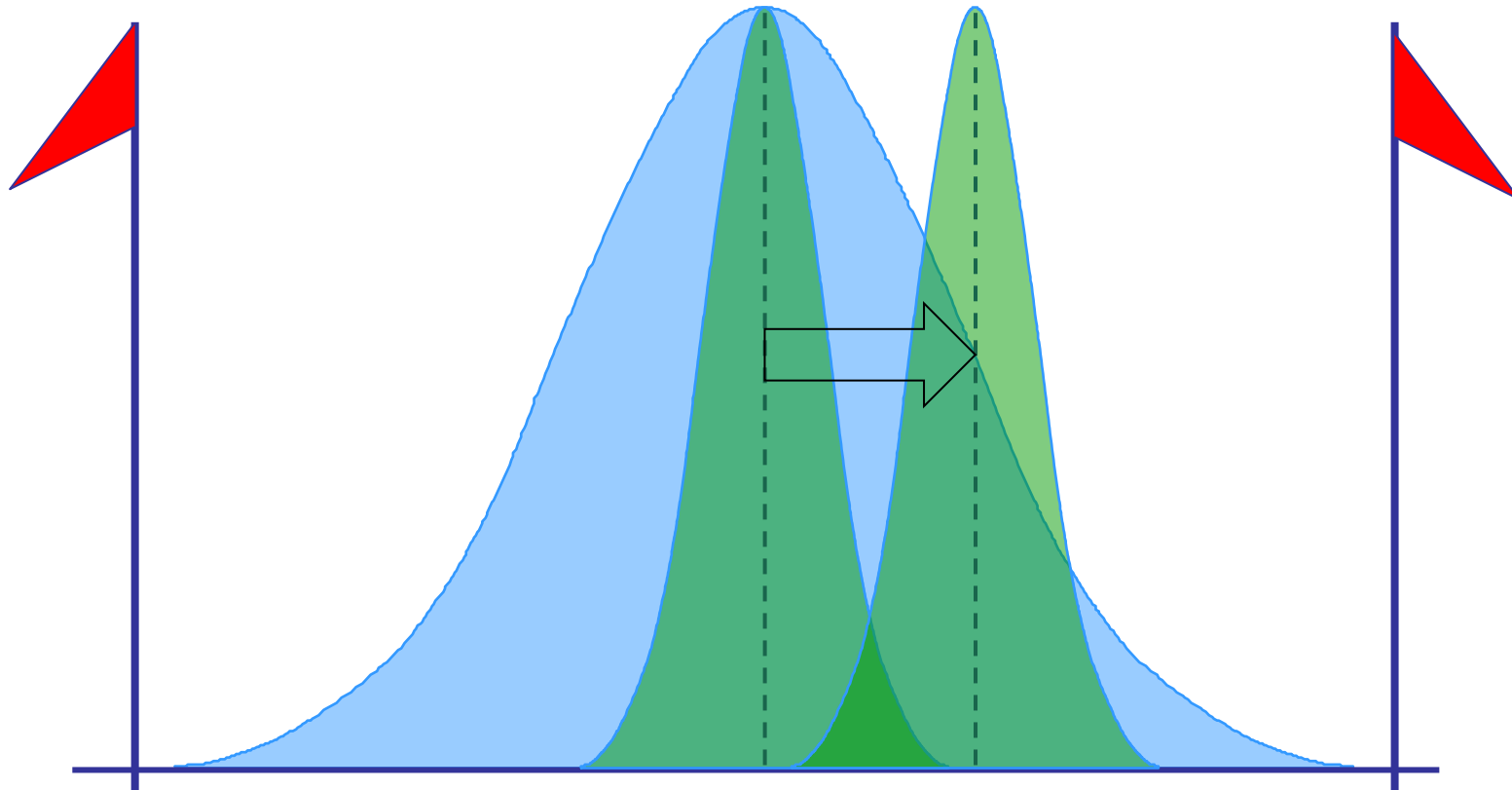
Moyenne	22,368
σ	0,005
Cp	6,25
Cpk	2,02
% hors Maxi	0,00 %
% hors Mini	0,00 %

Graph 5 (Bottom Left):

Moyenne	0,308
σ	0,058
Cp	1,15
Cpk	1,11
% hors max	0,05 %
% hors min	0,02 %

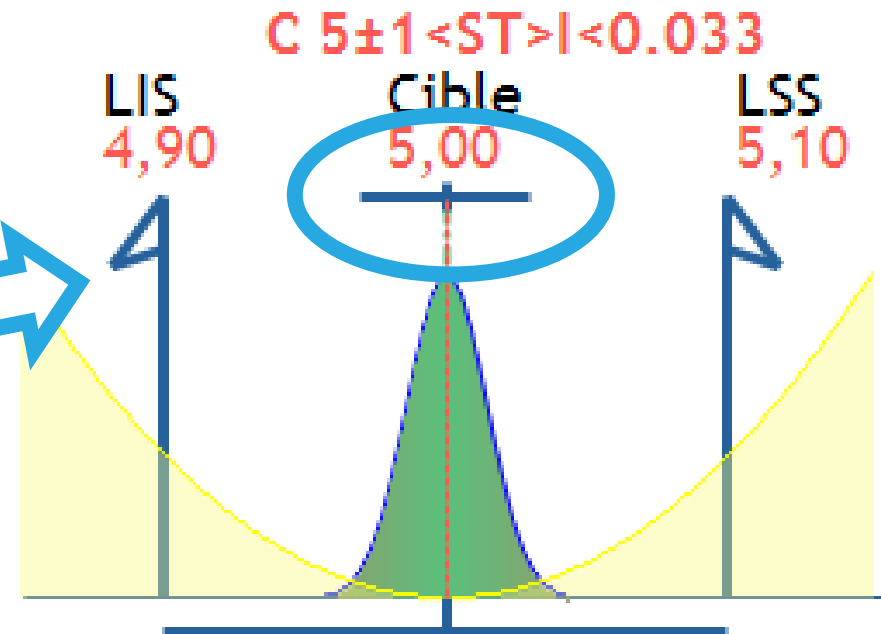
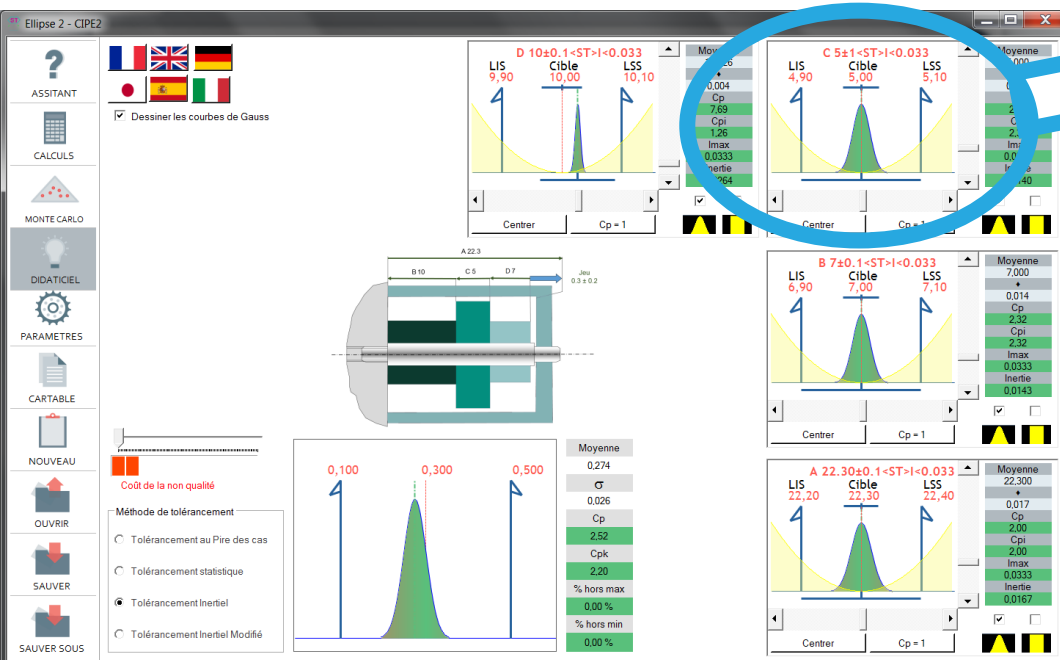
Les équipes doivent trouver une règle :

- Si on gagne en dispersion, on peut décentrer, mais de façon raisonnable
- La question est de savoir **quel est ce "raisonnable" ?**

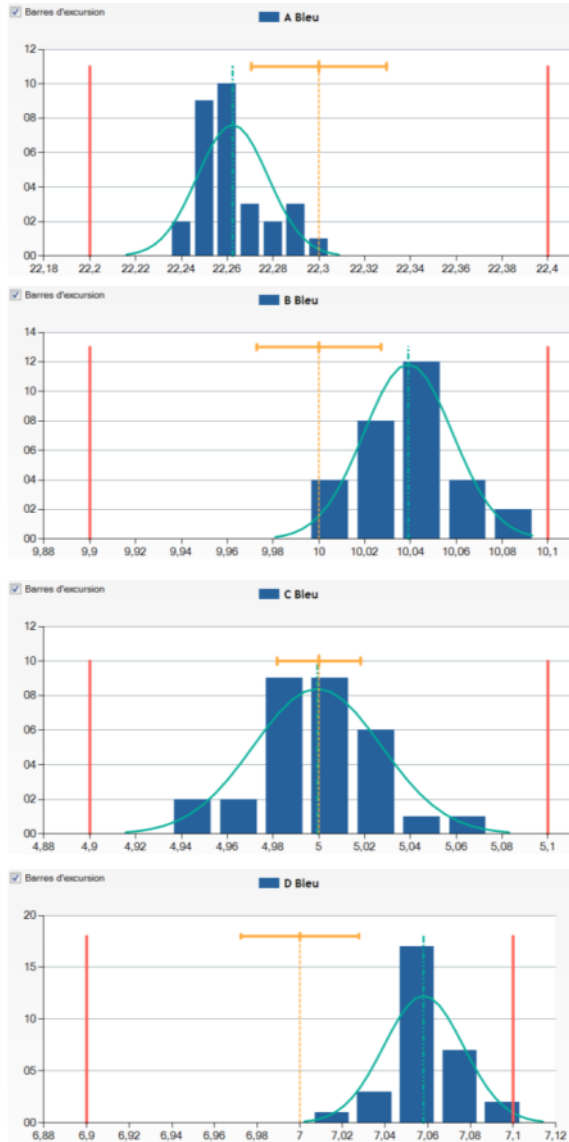
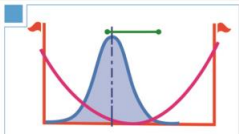
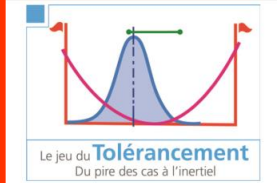


■ Principe / Objectif de la "Barre d'Excursion":

Mettre une limite à la fluctuation de la moyenne

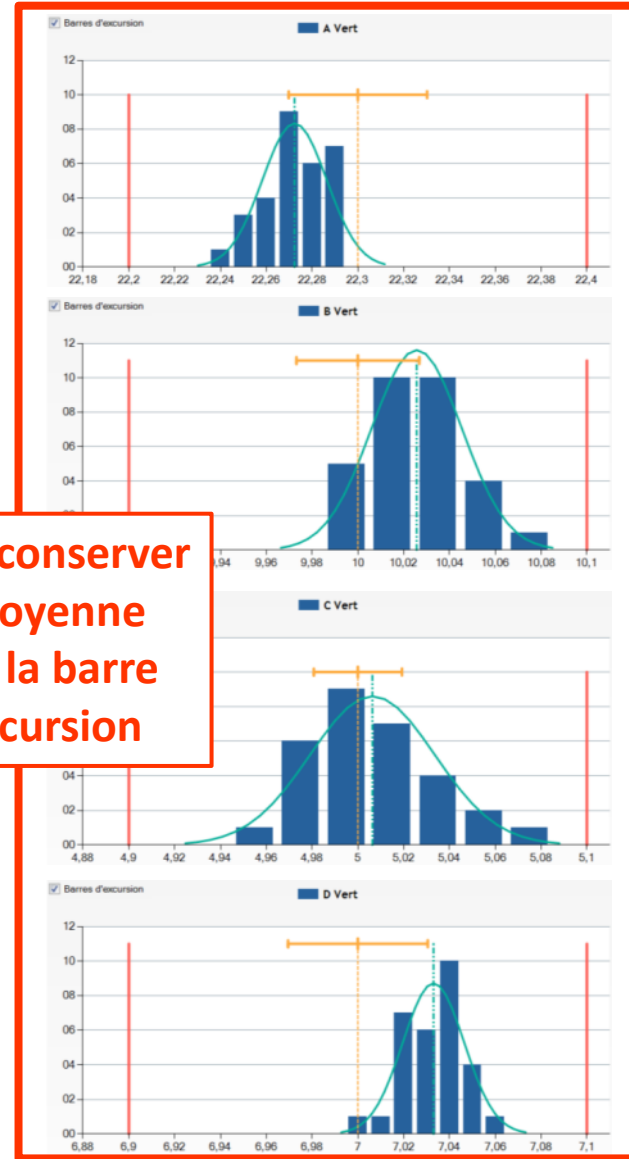


Donc, de combien peut-on décentrer ?



Le lot BLEU est devenu bon.
Mais le jeu est mauvais !

**Il faut conserver
la moyenne
dans la barre
d'excursion**



Le lot VERT est devenu bon
(on accepte désormais à raison).

Le jeu est resté bon

Conclusion : les limites du tolérancement statistique

■ Si on se contente du simple critère de conformité ($C_{pk} > 1,33$) ...

... On peut faire 100% de jeux **non-conformes**, avec des pièces 100% **conformes** !



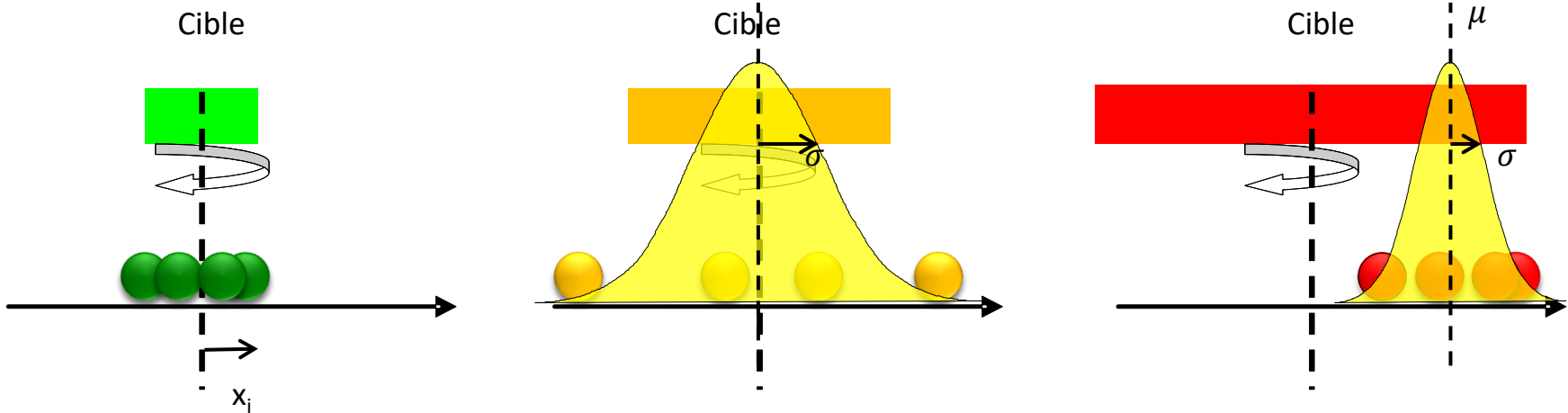
- 1) Tolérance et Conformité
- 2) Tolérancement au pire des cas
- 3) Tolérancement statistique
- ➔ 4) Tolérancement inertiel
- 5) Hiérarchisation des caractéristiques
- 6) Synthèse
- 7) Exercice de conception fabricable



Objectifs du chapitre

- Découvrir le tolérancement inertiel
- Calculer l'inertie d'un lot
- Calculer l'inertie maximale

Notion d'inertie



$$I = \sqrt{\frac{\sum (x_i - cible)^2}{n}}$$

$$I = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - cible)^2}$$

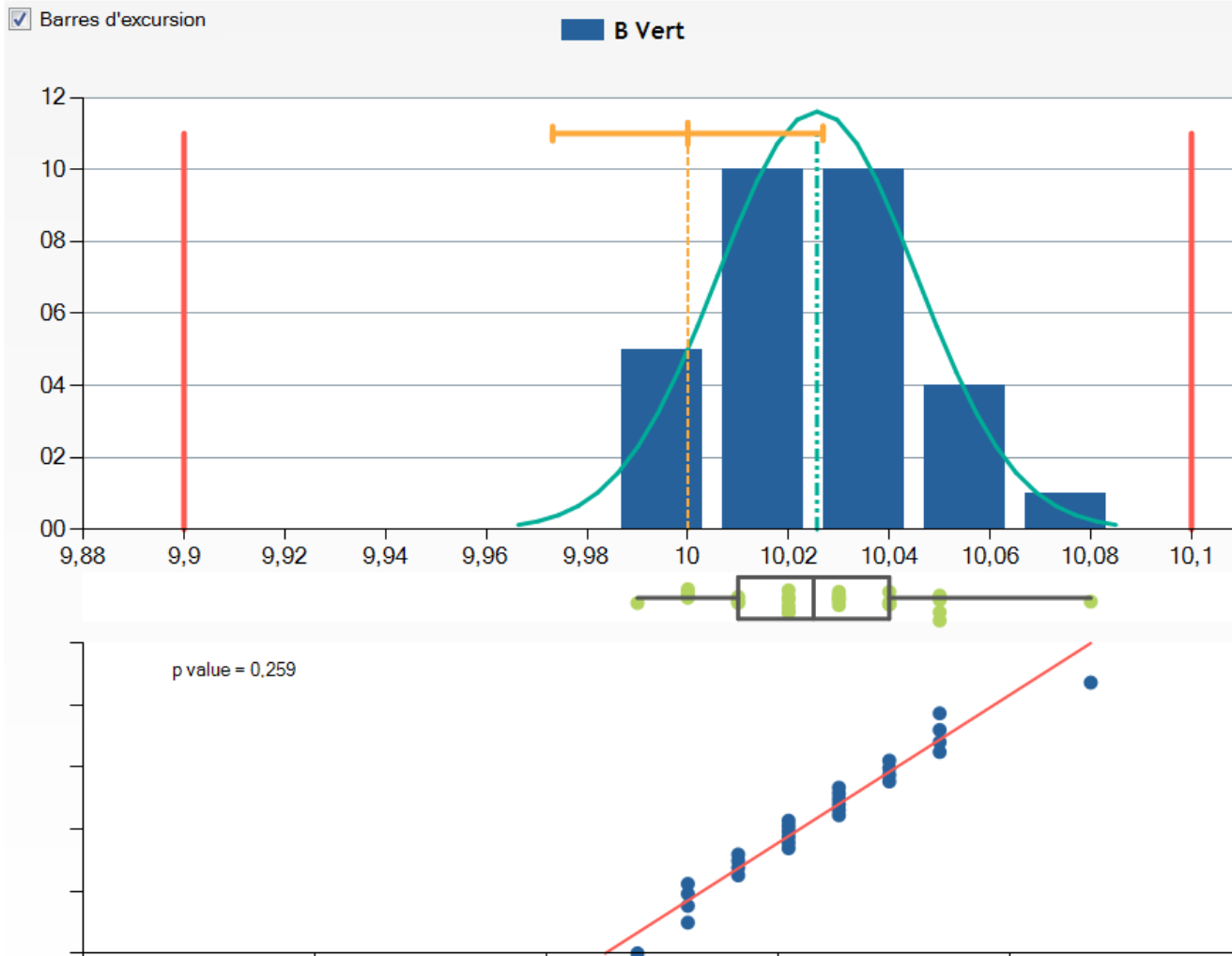
Inertie

Variance

(Écart Moyenne/cible)²



Calcul de l'inertie dans le logiciel

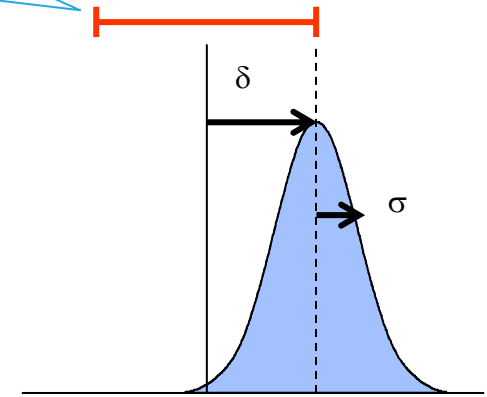
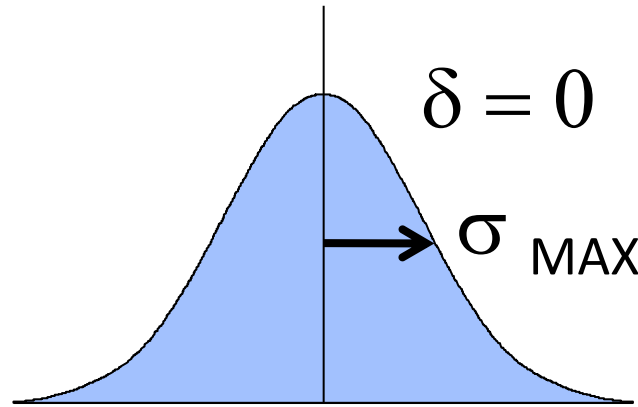


PARAMÈTRES			
N	30	INTERVALLE À 95%	
Moyenne	10,0250	min	max
Écart type	10,0257	10,0183	10,0330
Sig. CT	0,0198	0,0157	0,0266
Sig. CT	0,0186	0,0148	0,0250
Inertie	0,0324	Valeur mini	Valeur maxi
Dispersion	0,1186	9,9900	10,0800
CAPABILITÉS			
Z process	5,37	Capabilité mini (95%)	
Cp	1,79	1,40	
Pp	1,69	1,32	
Ppk	1,25	0,96	
Ppm	1,03	0,85	
Ppi			
% HORS TOLÉRANCES			
Hors Mini	0,0000 %	Hors Maxi	0,0085 %
ANALYSE DE NORMALITÉ			
Test pertinent	Anderson	CONCLUSIONS	
p chi²	0,953		
p Anderson...	0,259	Loi normale acceptée	
Skewness	0,46	Symétrique	
Kurtosis	3,24		
Valeurs abe...	NON		
Min Grubb	9,9682	Pas de valeur aberrante	
Max Grubb	10,0832	Pas de valeur aberrante	
Dixon Théor...	0,00 %		
Dixon Obser...	0,00 %	Pas de valeur aberrante	

Représentation de l'inertie par le demi-disque

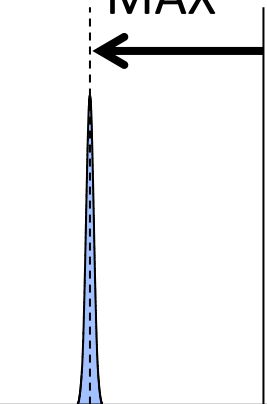
Excursion possible de la **moyenne** pour une **dispersion** donnée

$$I = \sqrt{\sigma^2 + \delta^2}$$



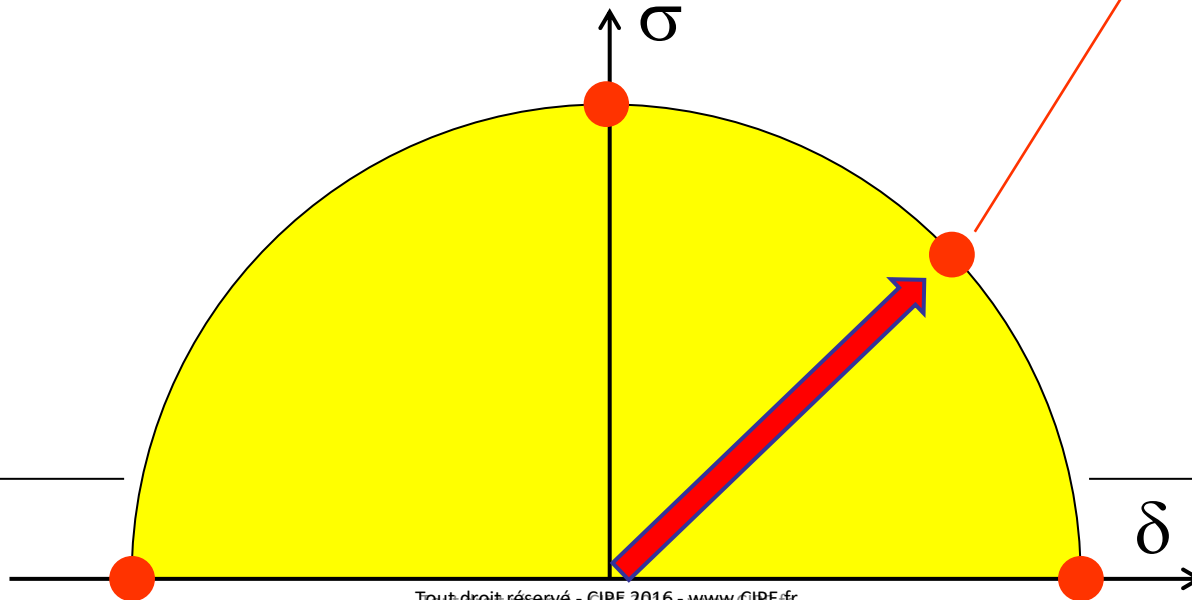
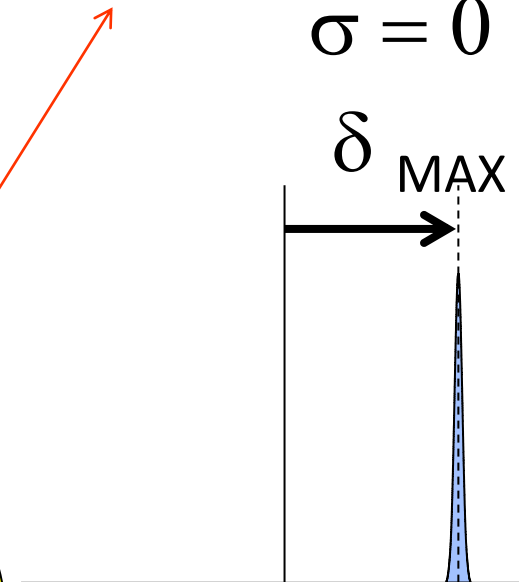
$\sigma = 0$

δ MAX

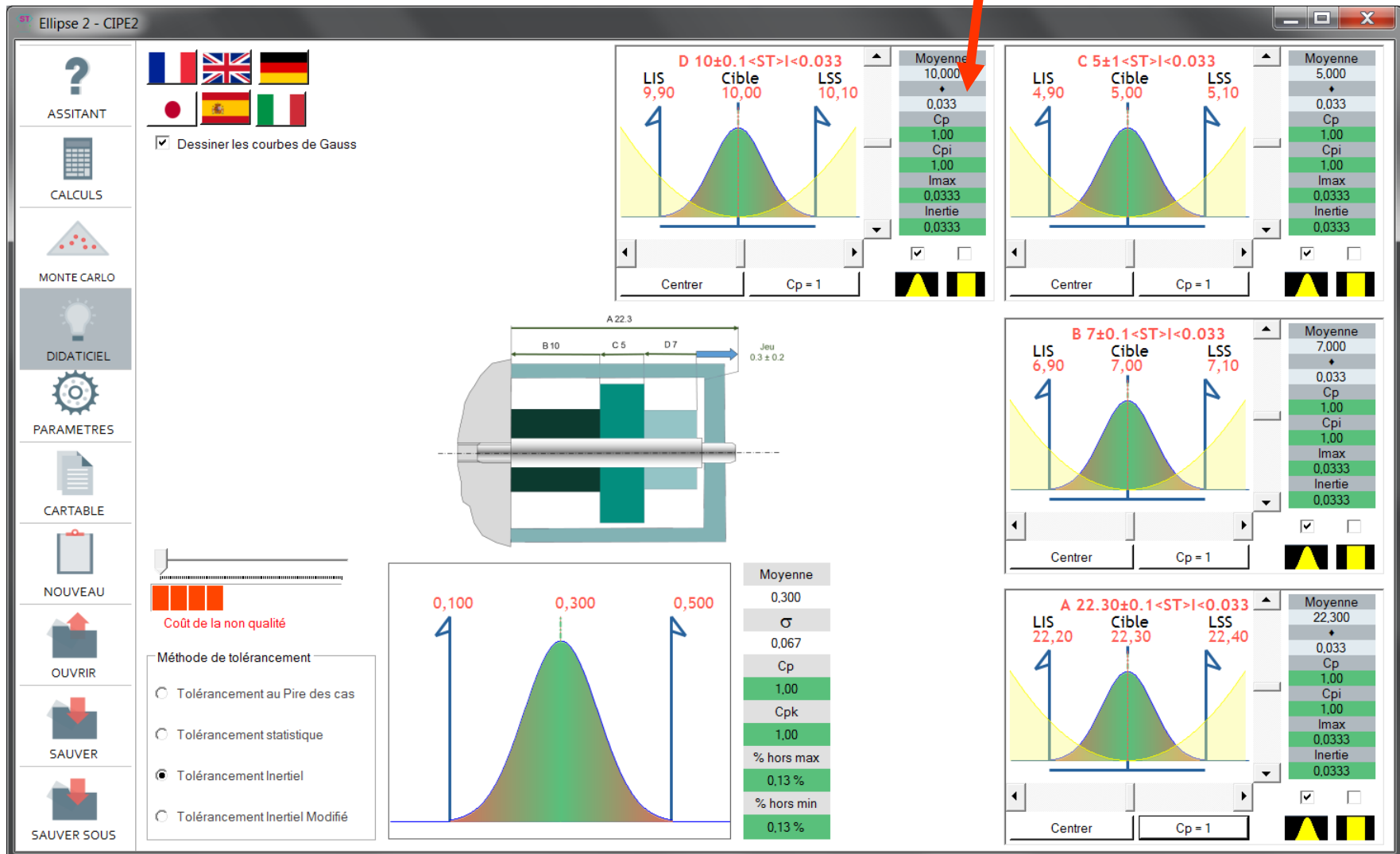


$\sigma = 0$

δ MAX



- L'inertie maximale est égale à l'écart type maximal que l'on peut admettre en tolérencement statistique **en position centrée**, soit, $I_{MAX} = 0.0333$



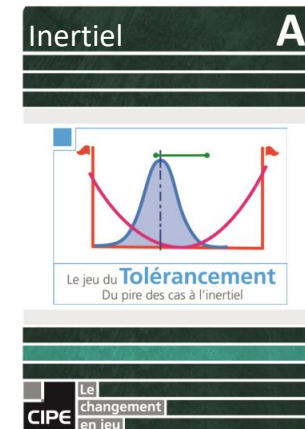
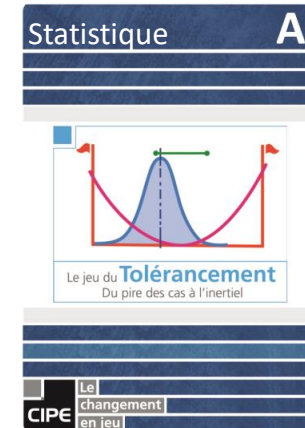
■ Performance Process Inertiel

$$P_{pi} = \frac{\text{Inertie maximale (0,0333)}}{\text{Inertie réelle calculée sur le lot}}$$

- Si $P_{pi} > 1$, le lot est **accepté**
- Si $P_{pi} < 1$, le lot est **refusé**

■ Voir ce qui se passe sur chaque pièce :

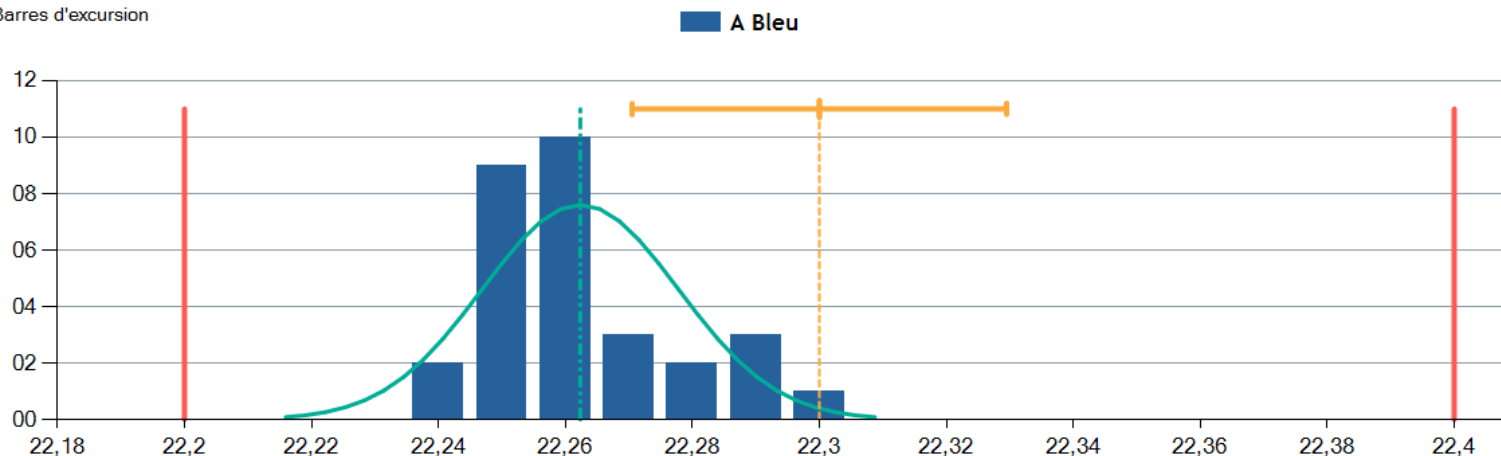
- Le lot serait-il accepté ou non en tolérancement statistique ?
- Quelle est la valeur de son P_{pi} ?



■ Ce lot serait **accepté en tolérancement statistique ...**

... mais refusé en tolérancement inertiel

Barres d'excursion

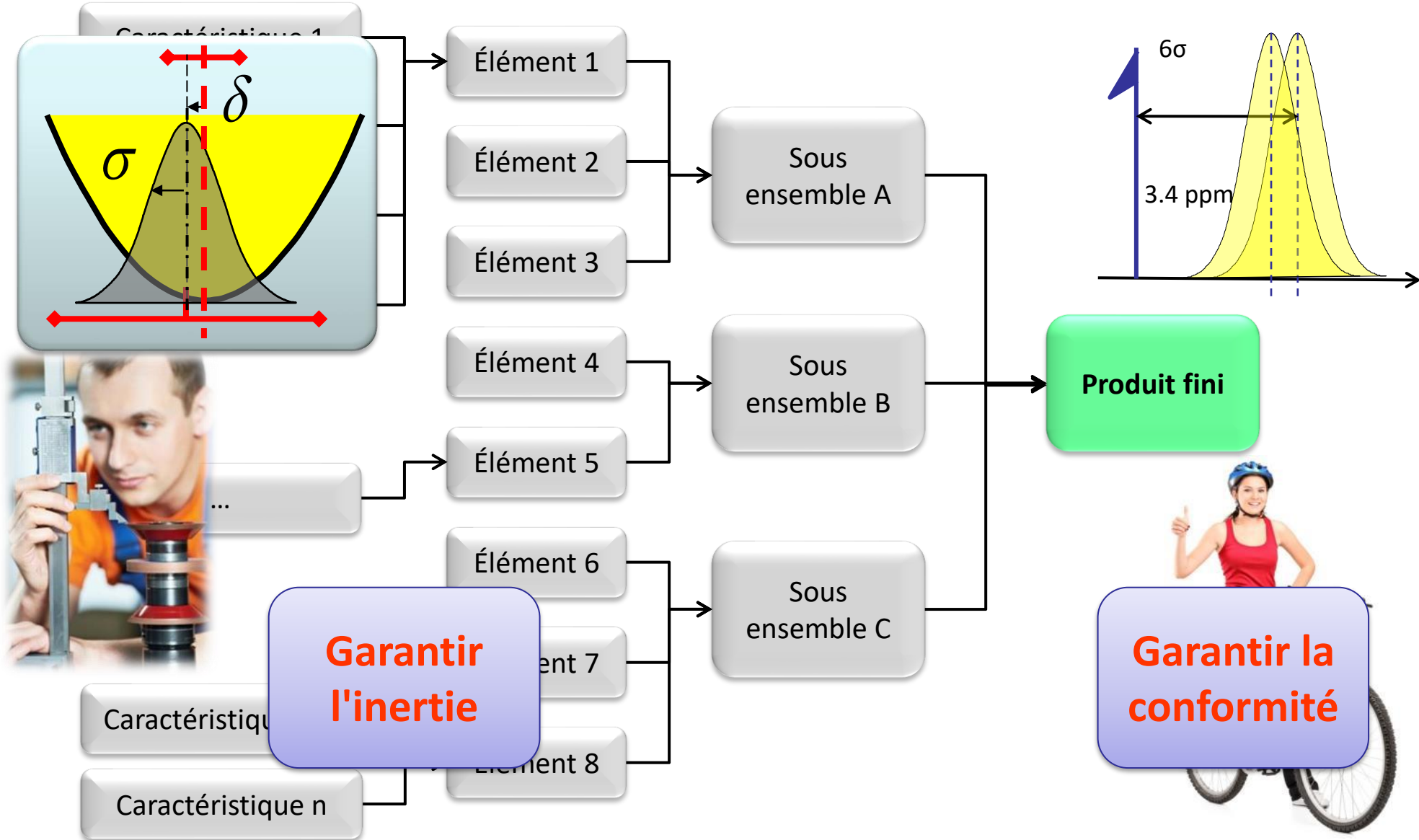


PARAMÈTRES			
NOMBRE	30	INTERVALLE À 95%	
Médiane	22,2600	min	max
Moyenne	22,2623	22,2566	22,2681
Sigma LT	0,0155	0,0123	0,0208
Sigma CT	0,0166	0,0132	0,0223
Inertie	0,0407	Valeur ...	Valeur ...
Dispersion	0,0928	22,2400	22,3000
CAPABILITÉS			
Z process	6,04	Capabilité mini (9...	
Cp	2,01	1,57	
Pp	2,16	1,68	
Ppk	1,34	1,04	
Ppm	0,82	0,73	
Ppi	0,82	0,73	
% HORS TOLÉRANCES			

$$P_{pi} = \frac{\text{Inertie demandée (0,0333)}}{\text{Inertie réelle calculée sur le lot}}$$

- Si $P_{pi} > 1$, le lot est **accepté**
- Si $P_{pi} < 1$, le lot est **refusé**

3,4 ppm et la maîtrise de l'inertie



Cas particulier possible du tolérancement inertiel

■ Il faut que toutes les caractéristiques soient en limite d'acceptation ! ...

Ellipse 2 - CIPE2

ASSISTANT

CALCULS

MONTE CARLO

DIDACTICIEL

PARAMETRES

CARTABLE

NOUVEAU

OUVRIR

SAUVER

SAUVER SOUS

Dessiner les courbes de Gauss

Méthode de tolérancement

Tolérancement au Pire des cas
 Tolérancement statistique
 Tolérancement Inertiel
 Tolérancement Inertiel Modifié

D $10 \pm 0.1 < ST > I < 0.033$

Moyenne	9.973
σ	0.017
Cp	2.00
Cpi	1.04
Imax	0.0333
Inertie	0.0320

C $5 \pm 1 < ST > I < 0.033$

Moyenne	4.973
σ	0.017
Cp	2.00
Cpi	1.04
Imax	0.0333
Inertie	0.0320

Résultante NON-CONFORME

Caractéristiques CONFORMES

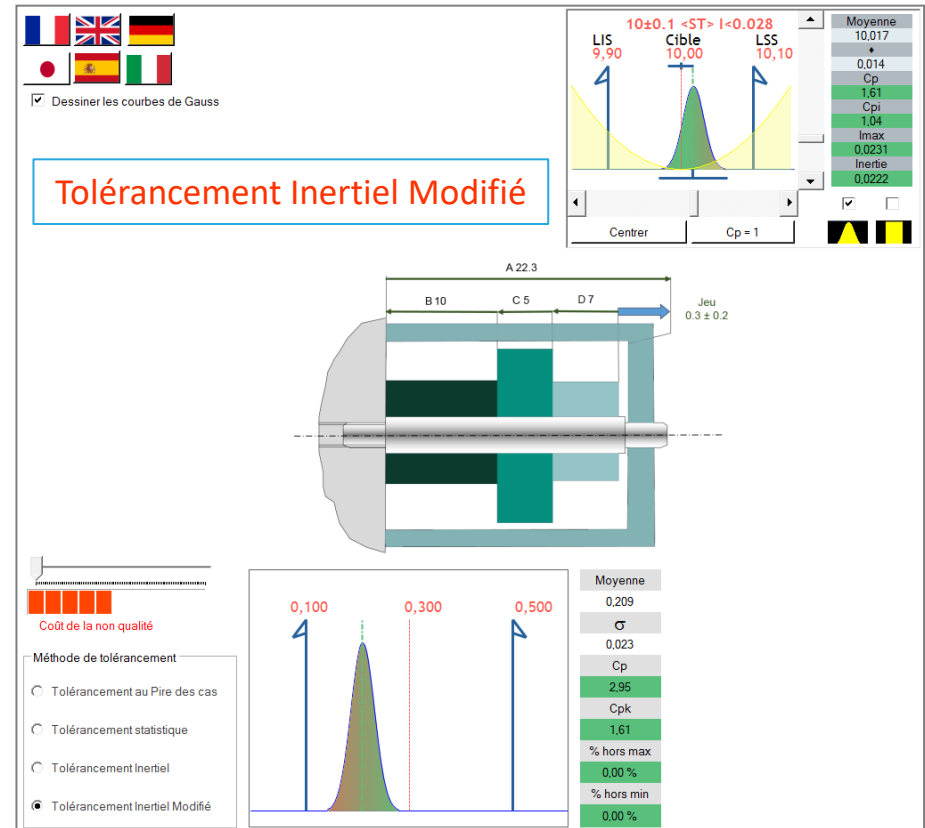
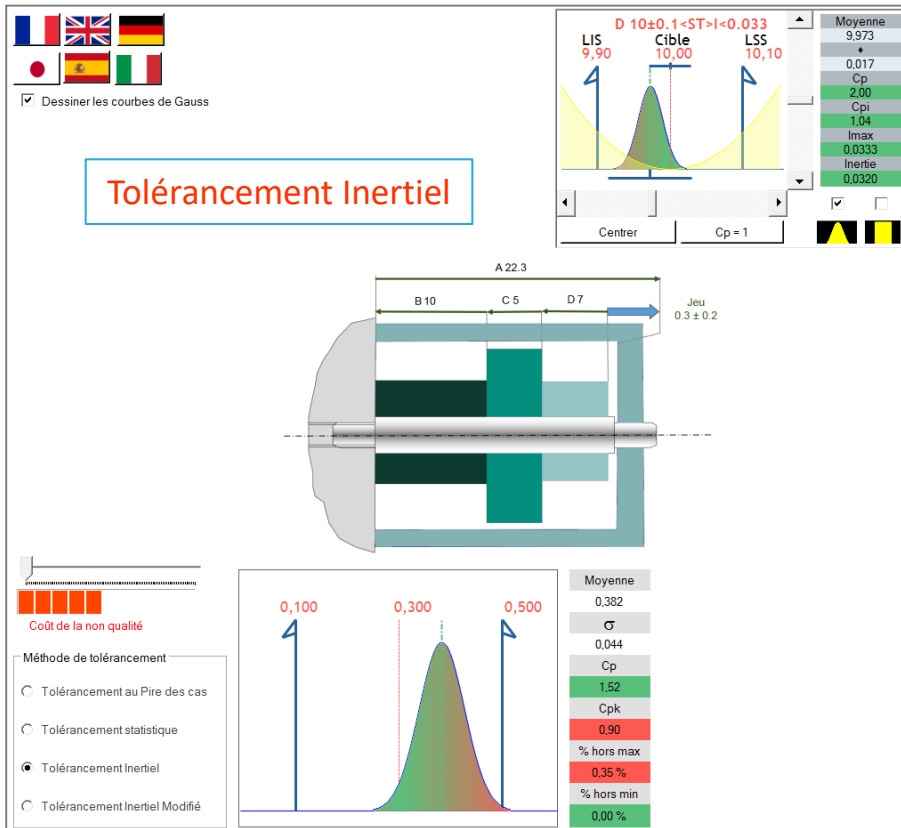
A $22.30 \pm 0.1 < ST > I < 0.033$

Moyenne	22.327
σ	0.017
Cp	2.00
Cpi	1.04
Imax	0.0333
Inertie	0.0320

Jeu 0.3 ± 0.2

Moyenne	0.382
σ	0.044
Cp	1.52
Cpk	0.90
% hors max	0.35%
% hors min	0.00%

- Pour garantir **dans tous les cas d'assemblages** un jeu conforme, il est nécessaire de prendre une inertie plus restrictive : l'inertie corrigée
 - Les barres d'excursion sont resserrées de telle sorte qu'il est impossible d'avoir des caractéristiques conformes aboutissant à un assemblage non-conforme
- On garantit **DANS TOUS LES CAS** un $Cpk >$ mini souhaité sur la cote condition



- Avec les cartes, nous avons simulé **1 seul lot** : on pourrait avoir des doutes ...
- Passez dans ST, puis cliquez sur MONTE CARLO :

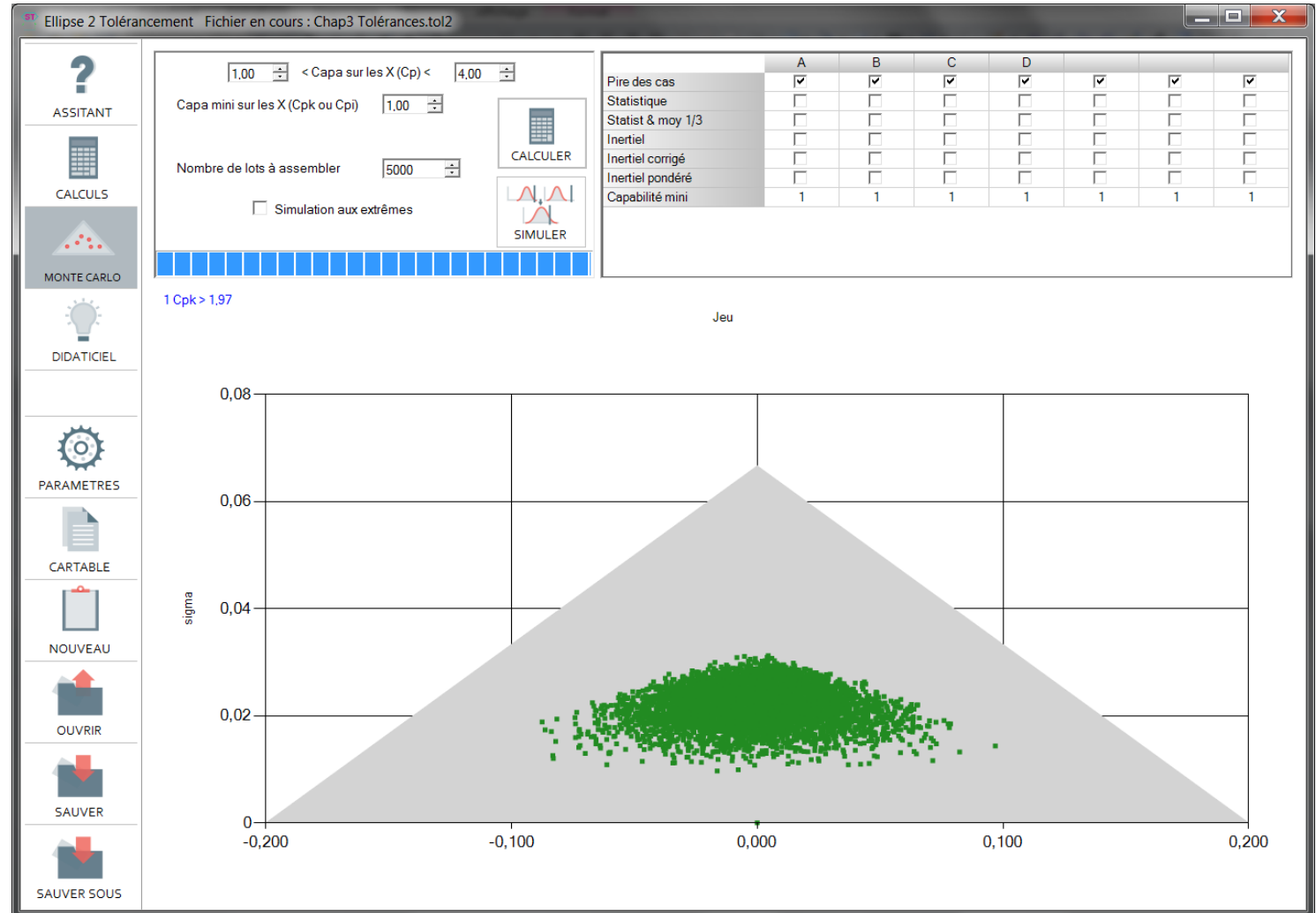
Le simulateur permet de jouer **plusieurs milliers** de lots

Tolérancement "Au pire de cas" (ou arithmétique)

- Des pièces TOUJOURS conformes, voire "super-conformes"
- Des écart-types très bas, nécessitant des moyens de production précis, et coûteux

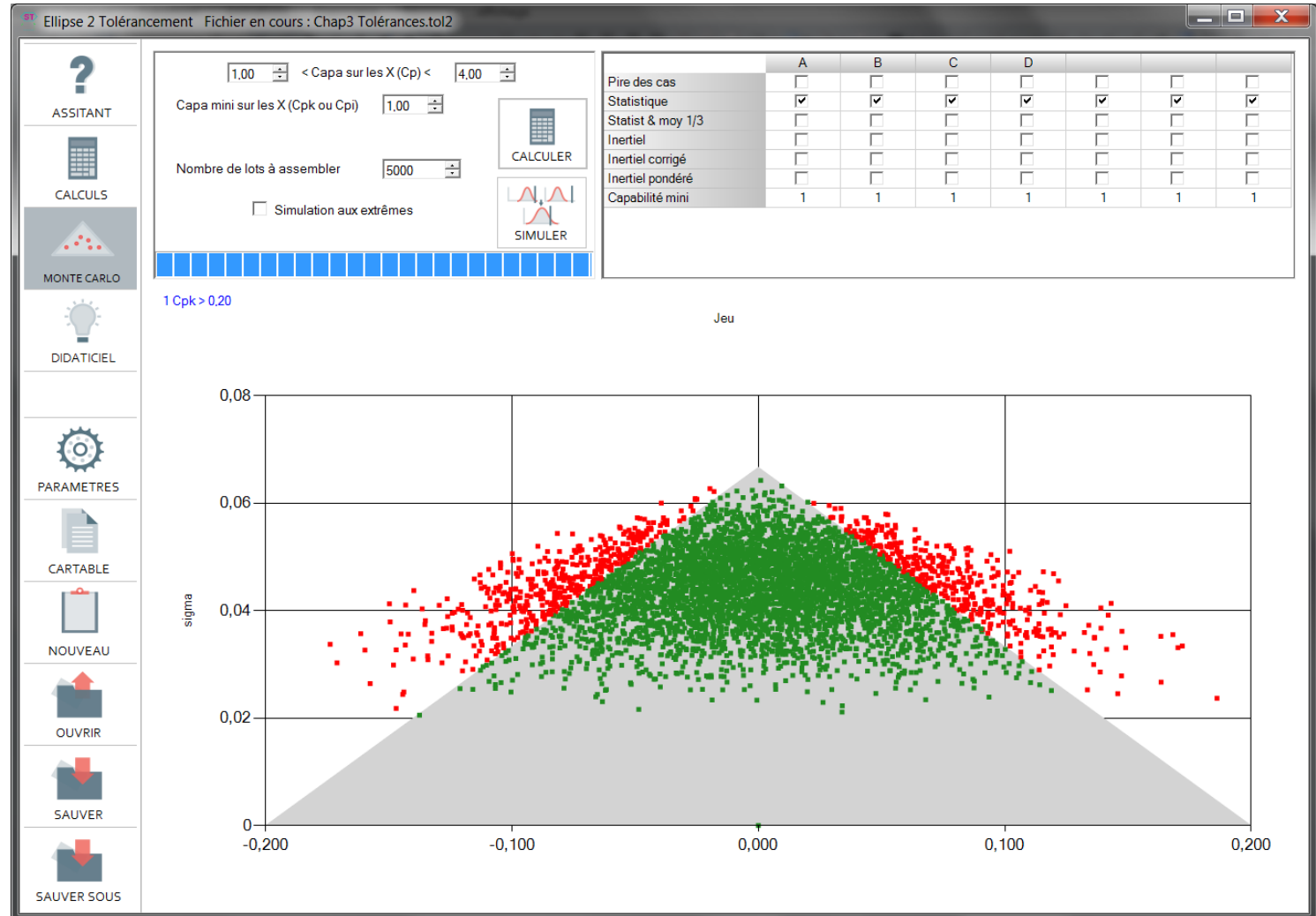
■ On n'utilise pas toute la zone acceptable

■ C_{pk} mini = 1,97

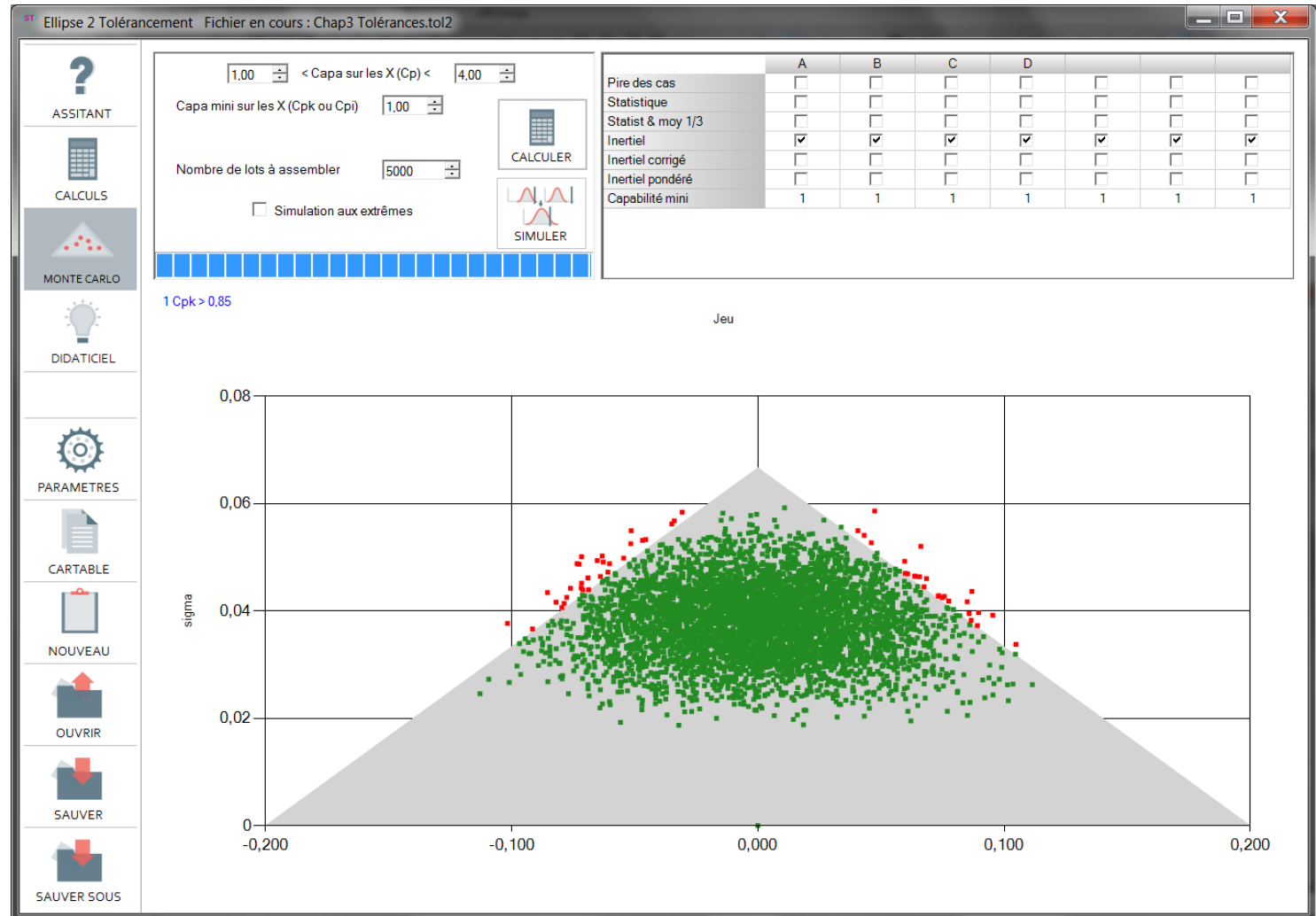


Tolérancement "Statistique" (ou quadratique)

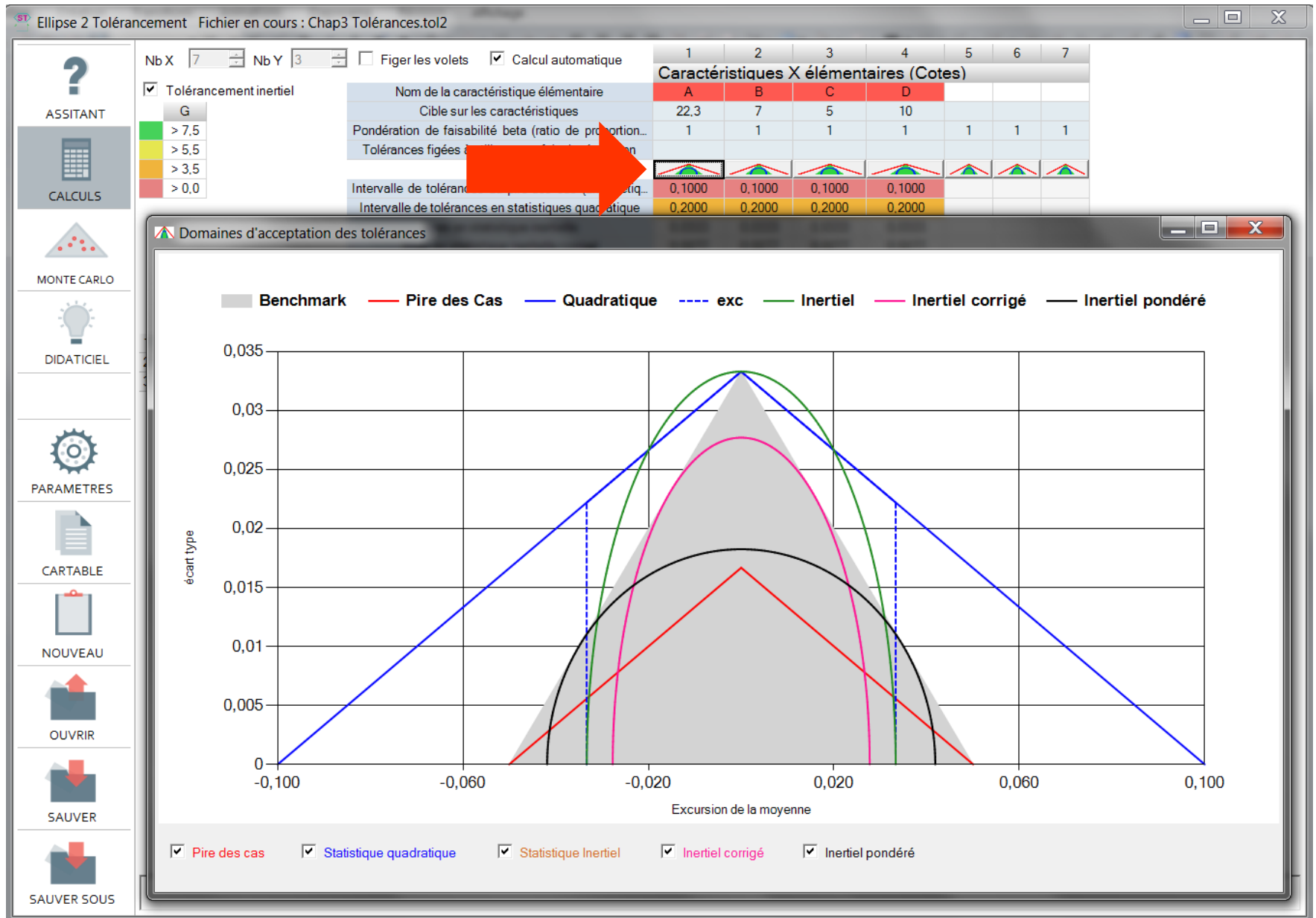
- Une zone plus large, donc des moyens de production moins coûteux
- Mais beaucoup de jeux non conformes
- C_{pk} mini = 0,2 !



- Une zone d'acceptabilité plus largement couverte, avec des écarts-types plus larges
- Quelques jeux non conformes
- C_{pk} mini = 0,85

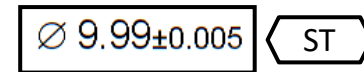


Zones de tolérances possibles



En résumé, pour appliquer le tolérancement inertiel

- 1) On part de la caractéristique Y résultante (ce que le client veut), en mini maxi
 - 2) On saisit les caractéristiques X élémentaires contributrices, leurs cibles, et leurs "signes"
 - 3) On obtient les calculs des tolérances
 - 4) On connaît alors pour chaque X :
 - Sa valeur mini, et sa valeur maxi
 - ET l'inertie maxi autorisée, à savoir = $IT_X / 6$
- L'inertie réelle sera calculée, selon la formule :



$$I = \sqrt{(\mu - cible)^2 + \sigma^2} < I_{MAX}$$

Ellipse 2 Tolérancement Fichier en cours : Chap3 Tolérances.tol2

Nb X 7 Nb Y 3 Figer les volets Calcul automatique

Tolérancement inertiel

G

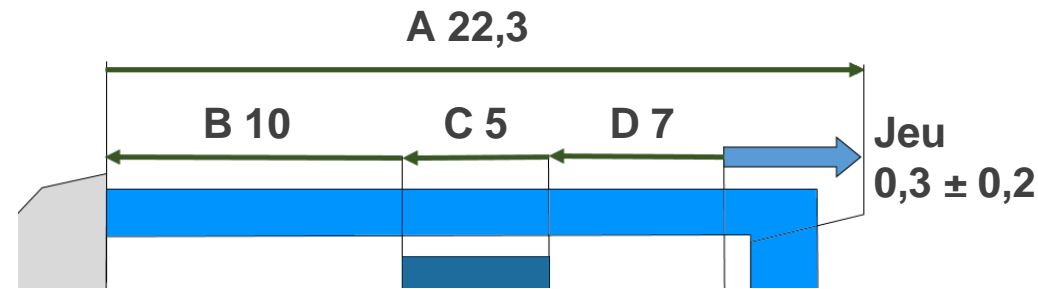
- > 7,5
- > 5,5
- > 3,5
- > 0,0

		1	2	3	4									
		Caractéristiques X élémentaires (Cotes)												
Nom de la caractéristique élémentaire		A	B	C	D									
Cible sur les caractéristiques		22,3	7	5	10									
Pondération de faisabilité beta (ratio de proportion...)		1	1	1	1									
Tolérances figées à utiliser pour faire la répartition														
Intervalle de tolérances au pire des cas (arithmétique)		0,1000	0,1000	0,1000	0,1000									
Intervalle de tolérances en statistiques quadratique		0,2000	0,2000	0,2000	0,2000									
Imax en statistique inertielle		0,0333	0,0333	0,0333	0,0333									
Imax en statistique inertielle corrigé		0,0277	0,0277	0,0277	0,0277									
Inertiel pondéré w/Imax/Tolérances 0,7		0,1905	0,1905	0,1905	0,1905									
Caractéristiques Y résultantes (Jeux)														
Valeurs souhaitées		Valeurs obtenues												
Nom	G	Mini	Maxi	Cible	Toléra...	Cpk	Cible	Pire des...	Statistiq...					
1	Jeu	7	0,1	0,5	0,3	0,4	1	0,3...	0,4000	0,4000	1	-1	-1	-1
2	Jeu	7					1							


Résumé des 3 tolérancements

■ Considérons la caractéristique B

— Cible = 10



Au pire des cas ("arithmétique")	Statistique ("quadratique")	Inertiel
Il permet d'avoir un jeu résultant TOUJOURS conforme ("sur-qualité")	On "mise" sur la probabilité faible d'assembler des pièces "aux extrêmes"	Deux tolérancements : - Un sur les valeurs individuelles (IT) - Un sur les paramètres de population (σ et δ)
$IT_x = \frac{IT_Y}{n} = \frac{0,4}{4} = 0,1$	$IT_x = \frac{IT_Y}{\sqrt{n}} = \frac{0,4}{\sqrt{4}} = 0,2$	$IT_x = \frac{IT_Y}{\sqrt{n}} = \frac{0,4}{\sqrt{4}} = 0,2$ $I = \sqrt{\sigma^2 + \delta^2}$
<p>B = $10 \pm 0,05$</p> <p style="text-align: center;">Élargissement $\times \sqrt{n}$</p> <p>B = $10 \pm 0,1$</p>		<p>$10 \pm 0,1$ ST 0,033</p> <p>1) B = $10 \pm 0,1$ 2) L'inertie conjugué σ et δ, et doit être inférieure à I_{MAX} :</p> $I_{MAX} = \sqrt{\frac{\left(\frac{IT_Y}{6}\right)^2}{n}}$
Condition d'acceptation $9,95 < B < 10,05$	Condition d'acceptation $9,9 < B < 10,1$ (IT plus large qu'au pire des cas)	Condition d'acceptation 1) $9,9 < B < 10,1$ (même condition qu'en tolérancement statistique) 2) $I < 0,033$

- 1) Tolérance et Conformité
- 2) Tolérancement au pire des cas
- 3) Tolérancement statistique
- 4) Tolérancement inertiel
-  5) Hiérarchisation des caractéristiques
- 6) Synthèse
- 7) Exercice de conception fabricable



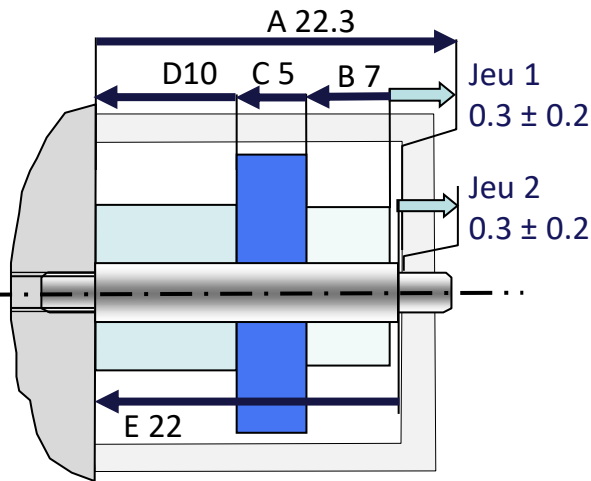
Objectif du chapitre

- Présenter l'entreprise, et son projet de conquête de 6 marchés potentiels

Application sur un exemple avec deux chaînes de cotes

■ **Jeu 1 = A - B - C - D**

■ **Jeu 2 = A - E**



5 Caractéristiques A, B, C, D, E

2 Conditions Jeu1, Jeu2

Ellipse 2 Tolérancement

Nb X 20 Nb Y 10

Calcul automatique

Tolérancement inertiel

G

> 7.5

> 5.5

> 3.5

> 0.0

Caractéristiques X élémentaires (Cotes)					
	1	2	3	4	5
	A	B	C	D	E
Nom de la caractéristique élémentaire					
Cible sur les caractéristiques					
Pondération de faisabilité beta (ratio de proportion...)					
Tolérances figées à utiliser pour faire la répartition					

Caractéristiques Y résultantes (Jeux)										
Valeurs souhaitées							Valeurs obtenues			
Nom	G	Mini	Maxi	Cible	Toléra...	Cpk	Cible	Pire des...	Statistiq...	
1 Jeu 1	7	0.1	0.5	0.3	0.4	1	0.0...	0.0000	0.0000	
2 Jeu 2	7	0.1	0.5	0.3	0.4	1	0.0...	0.0000	0.0000	
3	7					1				

En écrivant les relations linéaires, on obtient les tolérances dans toutes les méthodes de tolérancement

Ellipse 2 Tolérancement

Fichier en cours : Chap5 Hiérarchisation.tol2

Nb X 20 Nb Y 10

Calcul automatique

Tolérancement inertiel

G

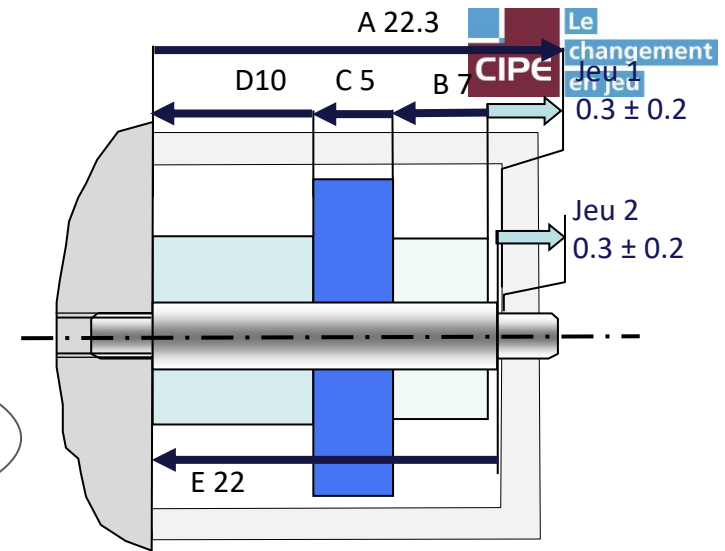
> 7.5

> 5.5

Caractéristiques X élémentaires (Cotes)					
	1	2	3	4	5
	A	B	C	D	E
Nom de la caractéristique élémentaire					
Cible sur les caractéristiques	22,3	7	5	10	22
Pondération de faisabilité beta (ratio de proportion...)	1	1	1	1	1
Tolérances figées à utiliser pour faire la répartition					

Caractéristiques Y résultantes (Jeux)										
Valeurs souhaitées							Valeurs obtenues			
Nom	G	Mini	Maxi	Cible	Toléra...	Cpk	Cible	Pire des...	Statistiq...	
1 Jeu 1	7	0.1	0.5	0.3	0.4	1	0.3...	0.4000	0.4000	1 -1 -1 -1
2 Jeu 2	7	0.1	0.5	0.3	0.4	1	0.3...	0.4000	0.4000	1 -1 -1 -1

Notion de gravité



La cote qui apparait **la plus critique** est la cote E qui pourtant a la tolérance la plus large !

ST Ellipse 2 Tolérancement Fichier en cours : Chap5 Hiérarchisation.tol2

ASSITANT

CALCULS

MONTE CARLO

DIDACTICIEL

Nb X 20 Nb Y 10 Figurer les volets Calcul automatique

Tolérancement inertiel

G
> 7.5
> 5.5
> 3.5
> 0.0

Nom de la caractéristique élémentaire	A	C	D	E
Cible sur les caractéristiques	22,3	7	5	10
Pondération de faisabilité beta (ratio de proportion...)	1	1	1	1
Tolérances figées à utiliser pour faire la répartition				
Intervalle de tolérances au pire des cas (arithmétique)	0,1000	0,1000	0,1000	0,3000
Intervalle de tolérances en statistiques quadratique	0,2000	0,2000	0,2000	0,3464
Imax en statistique inertielle	0,0333	0,0333	0,0333	0,0577
Imax en statistique inertielle corrigé	0,0277	0,0277	0,0277	0,0539
Inertiel pondéré w/Imax/Tolérances	0,1905	0,1905	0,1905	0,0635

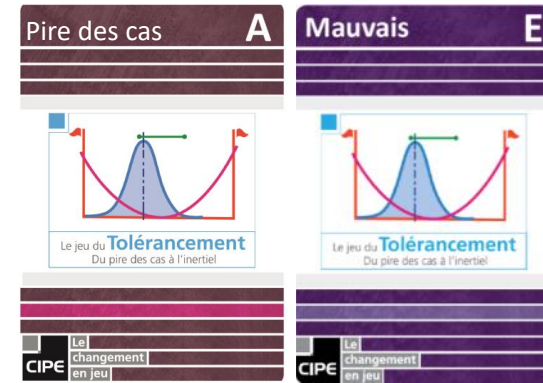
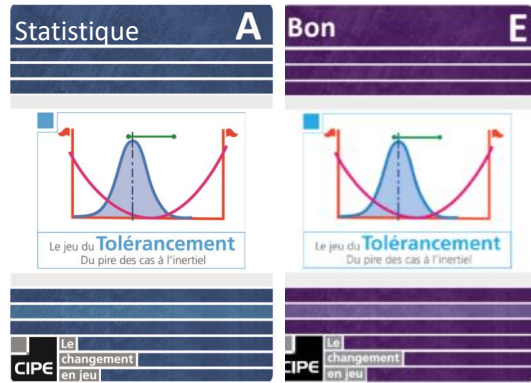
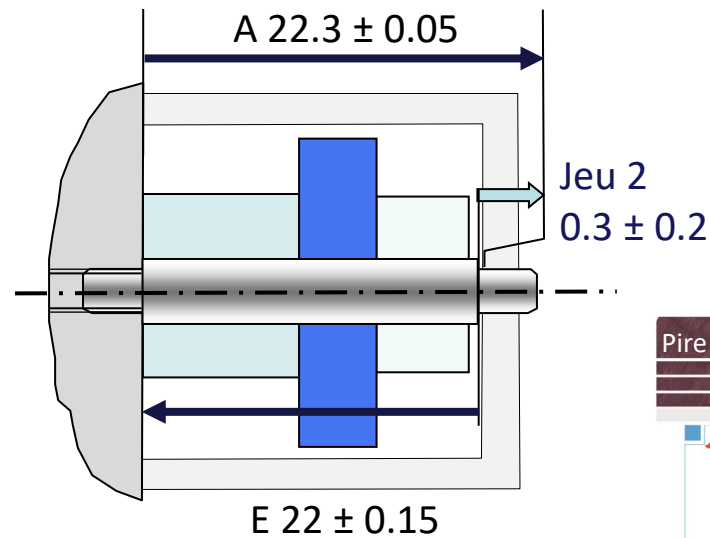
Caractéristiques Y résultantes (Jeux)

Valeurs souhaitées							Valeurs obtenues			
Nom	G	Mini	Maxi	Cible	Toléra...	Cpk	Cible	Pire des...	Statistiq...	
1	Jeu 1	7	0,1	0,5	0,3	0,4	1	0,3...	0,4000	
2	Jeu 2	7	0,1	0,5	0,3	0,4	1	0,3...	0,4000	

Caractéristiques X élémentaires (Cotes)					
	1	2	3	4	5
0,1905	0,1905	0,1905	0,1905	0,1905	0,0635
0,0183	0,0183	0,0183	0,0183	0,0183	0,0316
0,1378	0,1378	0,1378	0,1378	0,1378	0,3146
1	-1	-1	-1	-1	-1
1					-1

Retour aux jeux de cartes

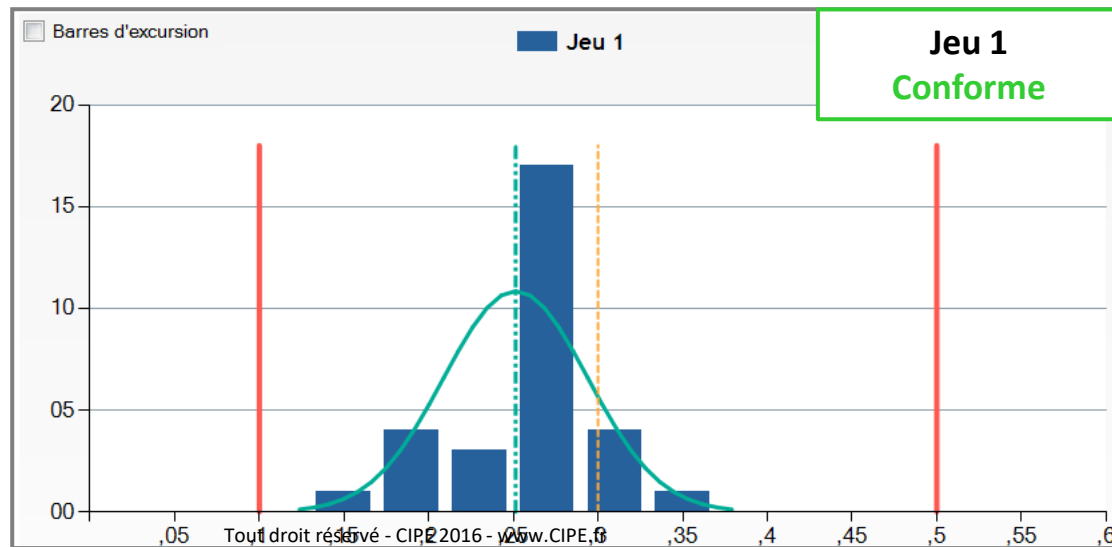
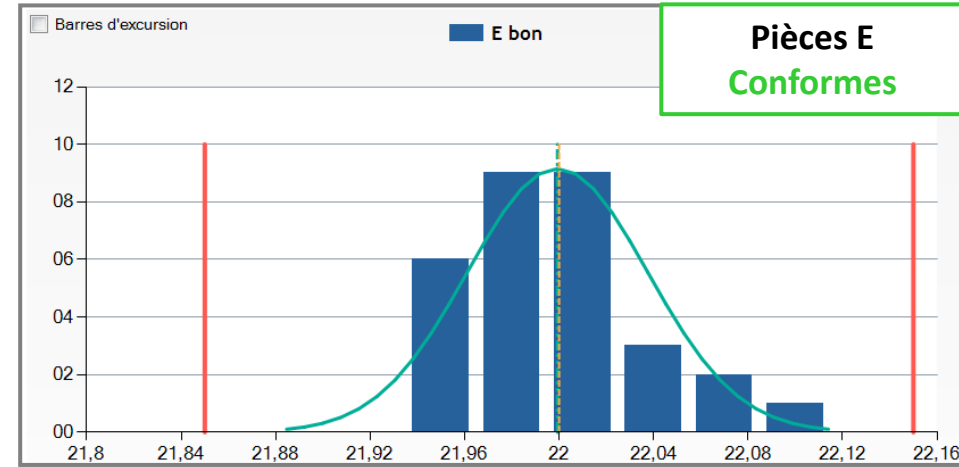
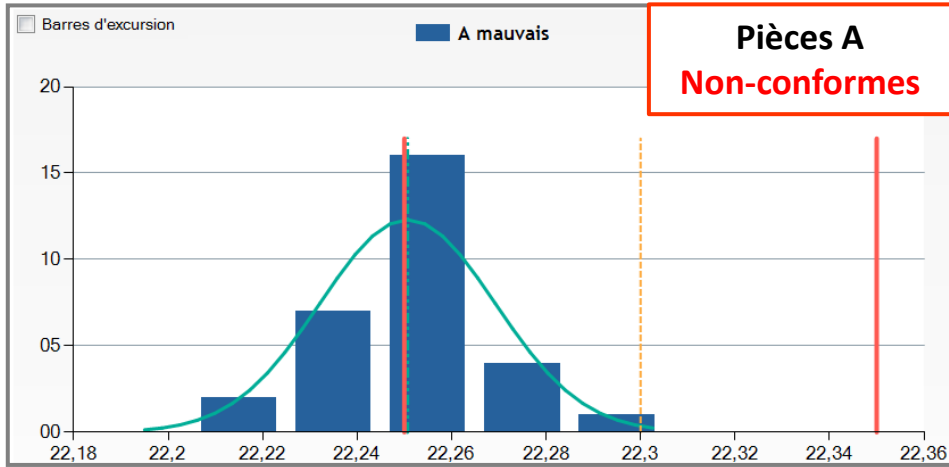
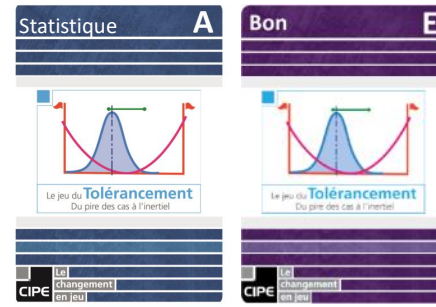
- Simulons l'assemblage du Jeu 2 dans deux cas de figure :



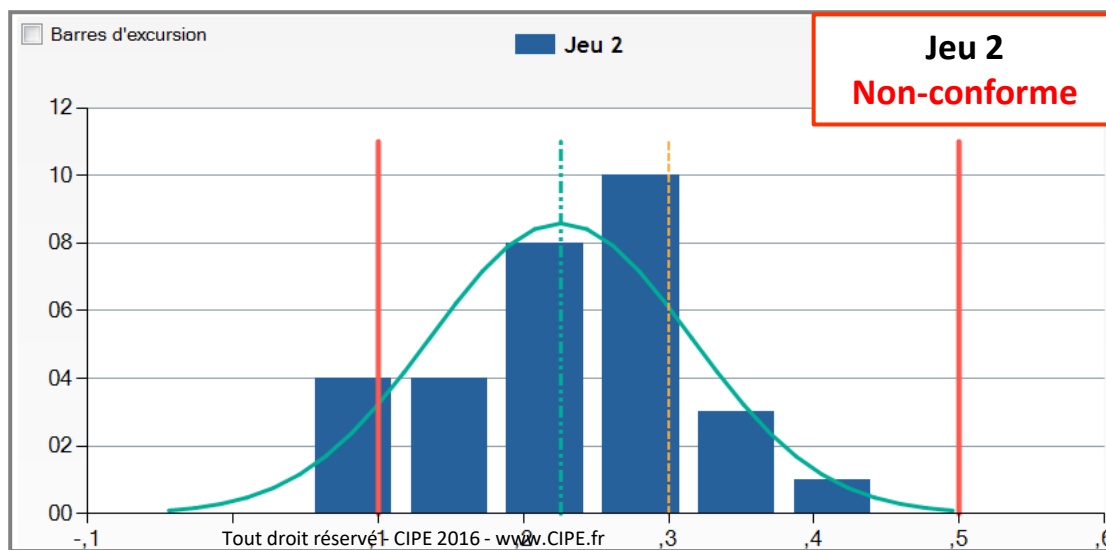
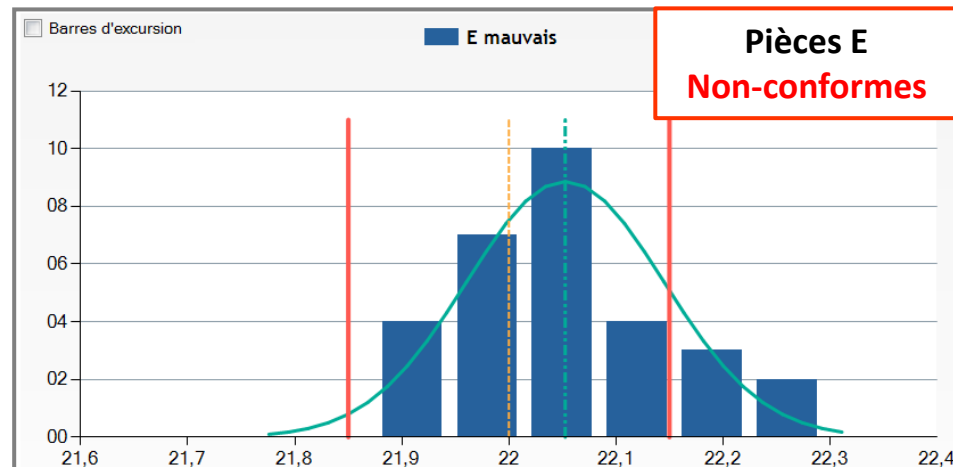
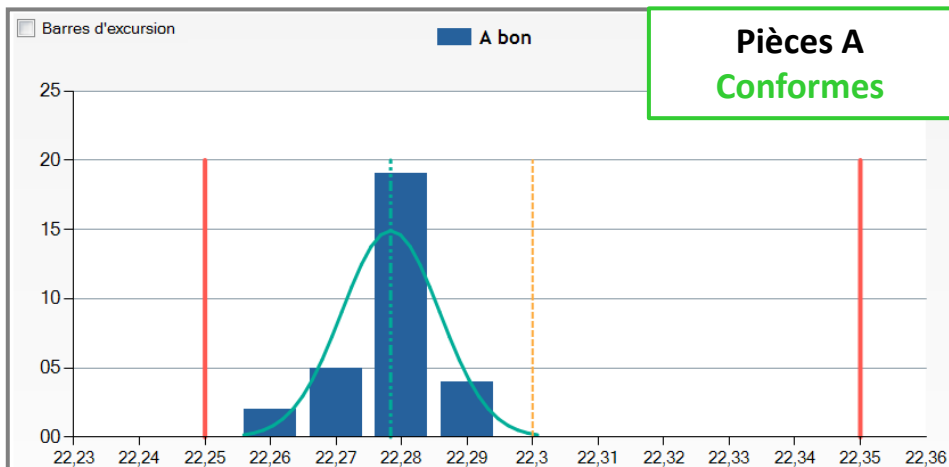
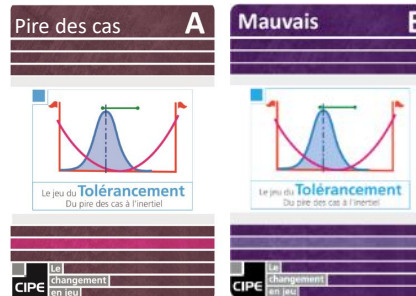
LSI	22,25	21,85	0,1		22,25	21,85	0,1
LSS	22,35	22,15	0,5		22,35	22,15	0,5
Imax							
Cible	22,3	22	0,3		22,3	22	0,3
SigCT							
Répet	1	1	1	1	1	1	1

	A	B	C	D	E	F	G
Nom	A mauvais	E bon	Jeu 1		A bon	E mauvais	Jeu 2
2	22,25	21,96	0,29		22,29	22,02	0,27
3	22,21	21,95	0,26		22,26	21,98	0,28

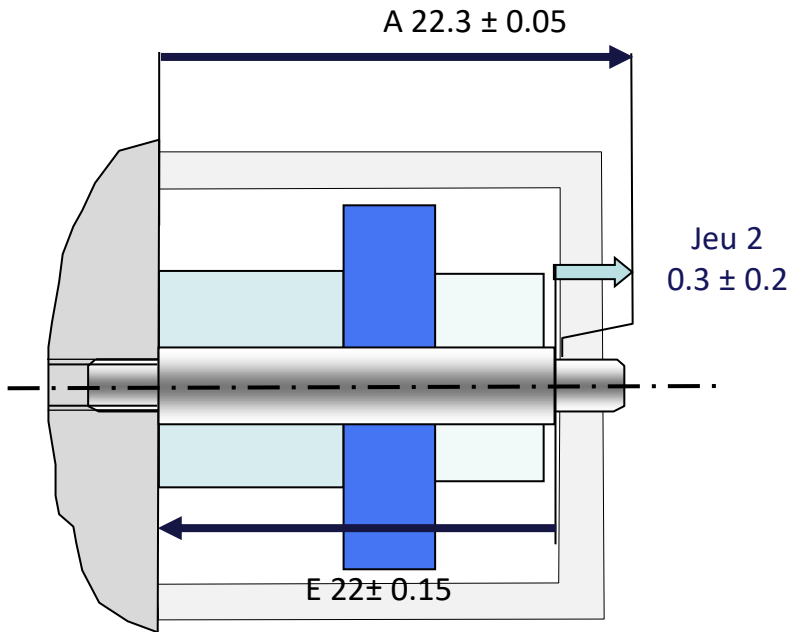
Résultats sur le Jeu 1



Résultats sur le Jeu 2



- On considère le jeu 2 suivant :
- Précisez ce que deviennent les valeurs (Sigma et Variances) :
 - 1) Si A se dégrade de 50 %
 - 2) Si E se dégrade de 50 %



chap. 5

Exercice 4 :
Cas des répartitions non uniformes

On considère le jeu 2 ci-contre : $Jeu\ 2 = A - E$

Dans ces conditions, on a :

Cote	E	A	JEU
SIGMA	3	1	$\sqrt{10} = 3.16$
VARIANCE	9	1	10

Précisez ce que deviennent les valeurs (Sigma et Variances) :

- 1) Si A se dégrade de 50 %
- 2) Si E se dégrade de 50 %

1) Si A se dégrade de 50% (E inchangé)

Cote	E	A	JEU
SIGMA			
VARIANCE			

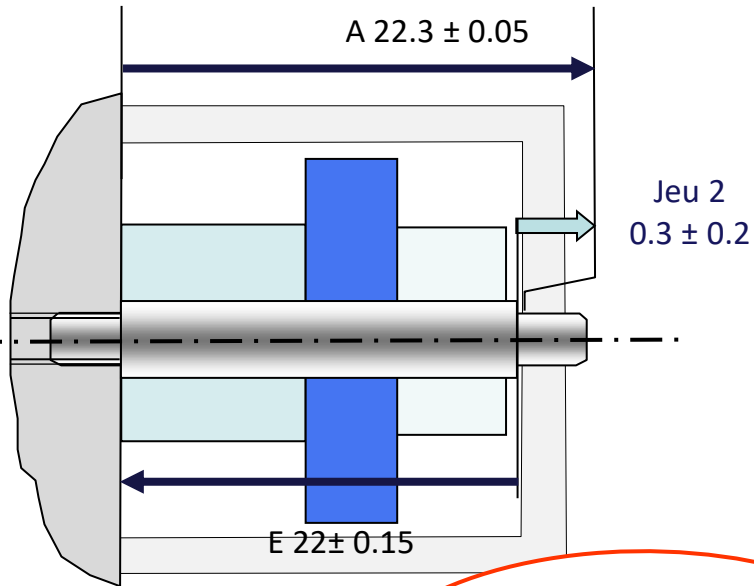
2) Si E se dégrade de 50% (A inchangé)

Cote	E	A	JEU
SIGMA			
VARIANCE			

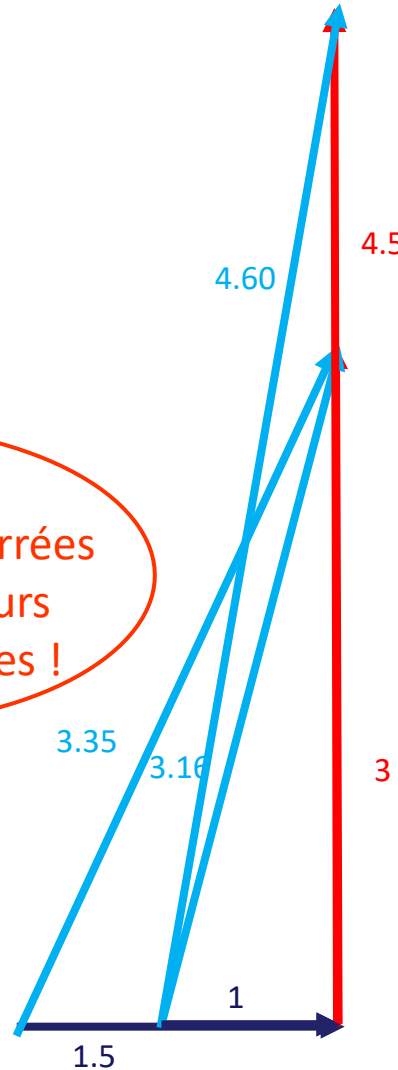
Le jeu du Tolérancement® Licence n°100

Cas des répartitions non uniformes

Ce sont les variances qui s'additionnent !



CONCLUSION
Les cotes les plus serrées ne sont pas toujours les plus importantes !



Cote	E	A	JEU
SIGMA	3	1	$\sqrt{10} = 3.16$
VARIANCE	9	1	10

Si A se dégrade de 50%

Cote	E	A	JEU
SIGMA	3	1.5	$\sqrt{11.25} = 3.35$
VARIANCE	9	2.25	11.25

Si E se dégrade de 50%

Cote	E	A	JEU
SIGMA	4.5	1	$\sqrt{21.25} = 4.6$
VARIANCE	20.25	1	21.25

- 1) Tolérance et Conformité
- 2) Tolérancement au pire des cas
- 3) Tolérancement statistique
- 4) Tolérancement inertiel
- 5) Hiérarchisation des caractéristiques
- ➔ 6) Synthèse
- 7) Exercice de conception fabricable

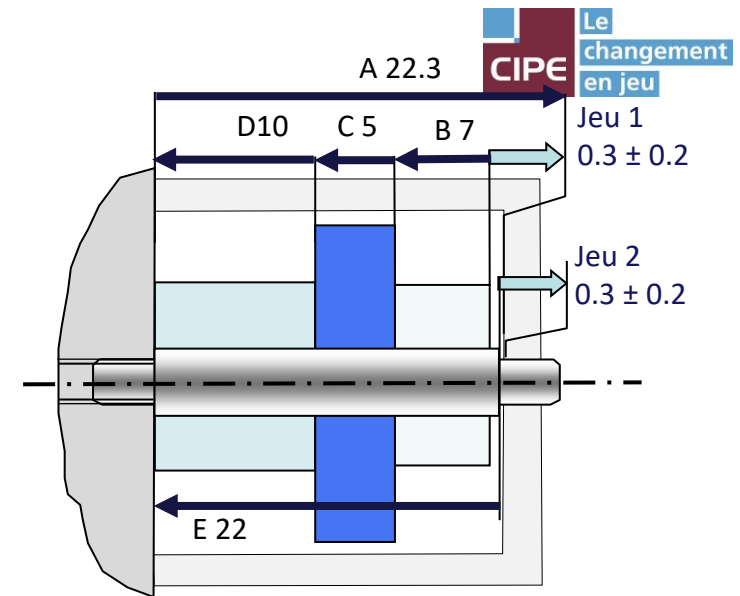


Objectif du chapitre

Effectuer les rappels sur les divers modes de tolérancement classiques et récents

Quelle méthode de tolérancement ?

- Quelles spécifications fixer sur les cotes A, B, ... F pour garantir les deux conditions Jeu 1 et Jeu 2 ?



Approches classiques :

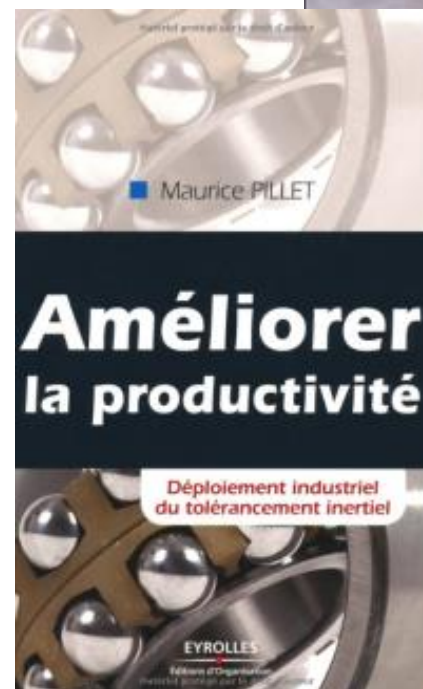
Pire des cas
Statistique

Approches récentes :

Semi-quadratique
Inertiel
Inertiel Corrigé
Inertiel Pondéré

- **"Appliquer la maîtrise statistique des processus MSP/SPC" - Editions Eyrolles**
 - Cet ouvrage présente les principes et méthodologies de mise en œuvre de la MSP
 - Il donne les notions de base à connaître avant d'approfondir les modes de tolérancement

- **"Améliorer la productivité" - Editions Eyrolles.**
Cet ouvrage présente les points suivants :
 - Modes de tolérancement
 - Calcul de la tolérance inertielle
 - Méthodologie de mise en œuvre de la MIP (maîtrise inertielle de processus)
 - Pilotage inertiel
 - Tolérancement inertiel total
 - Réception des lots en tolérancement inertiel
 - Validation d'un processus de mesure en inertiel



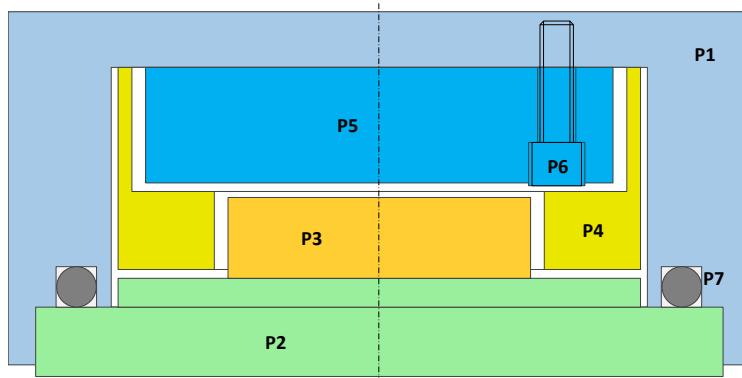
- 1) Tolérance et Conformité
- 2) Tolérancement au pire des cas
- 3) Tolérancement statistique
- 4) Tolérancement inertiel
- 5) Hiérarchisation des caractéristiques
- 6) Synthèse
- ➔ 7) Exercice de conception fabricable



Objectif du chapitre

- Définir les tolérances de cotes fonctionnelles
- Prendre en considération les capacités de production
- Réduire les gravités des cotes

- Vous êtes concepteurs et faites partie d'un bureau d'études
- Vous concevez actuellement un nouveau mécanisme
 - Le plan vous sera fourni dans un instant

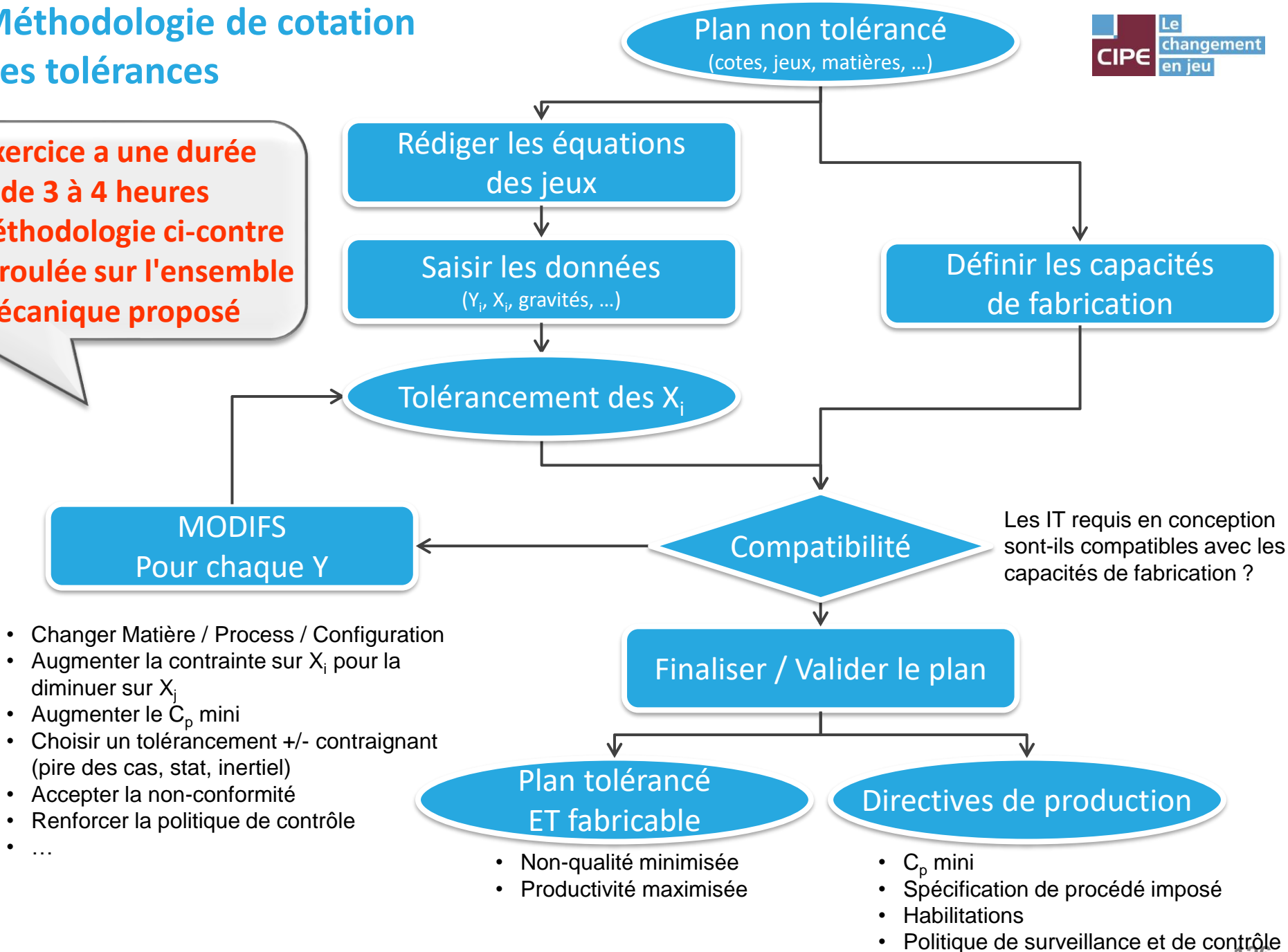


- Votre mission consiste à définir les tolérances de chacune des cotes de votre plan



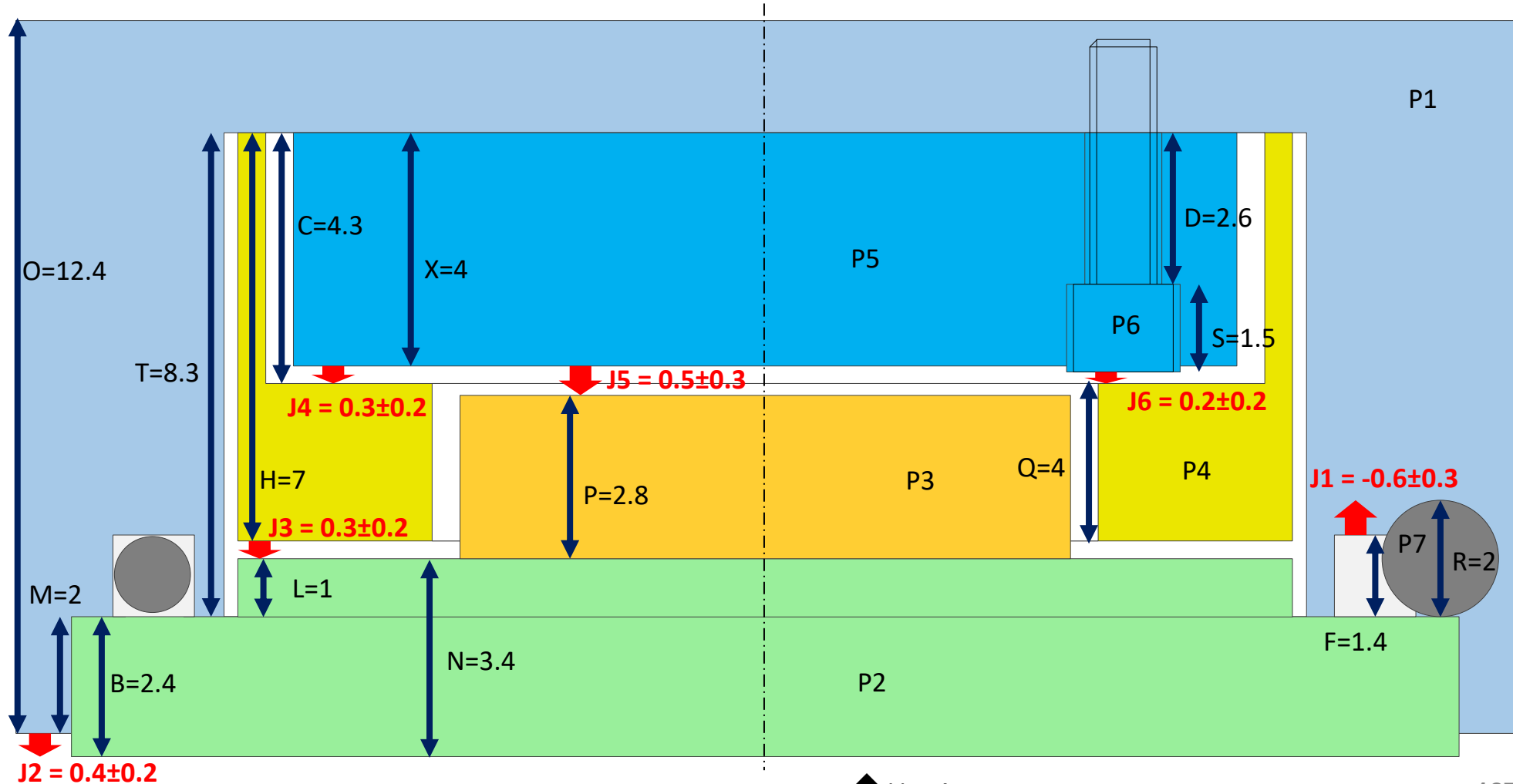
Méthodologie de cotation des tolérances

L'exercice a une durée de 3 à 4 heures
La méthodologie ci-contre est déroulée sur l'ensemble mécanique proposé



Présentation de l'ensemble mécanique étudié

- 6 jeux garantissent le fonctionnement du mécanisme
- On donne les cotes cibles des différentes pièces
- Objectif des participants : définir les tolérances des cotes fonctionnelles



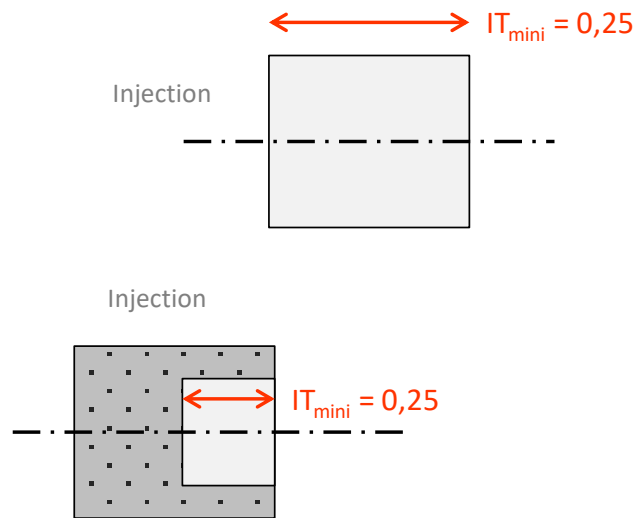
↑ Vue A

CAPACITÉ DE FABRICATION

Le service fabrication a défini les intervalles de tolérances minimum qu'il sait tenir en fonction :

- de la matière de la pièce
- du type de process
- voire de la prise de pièce.

Plastique

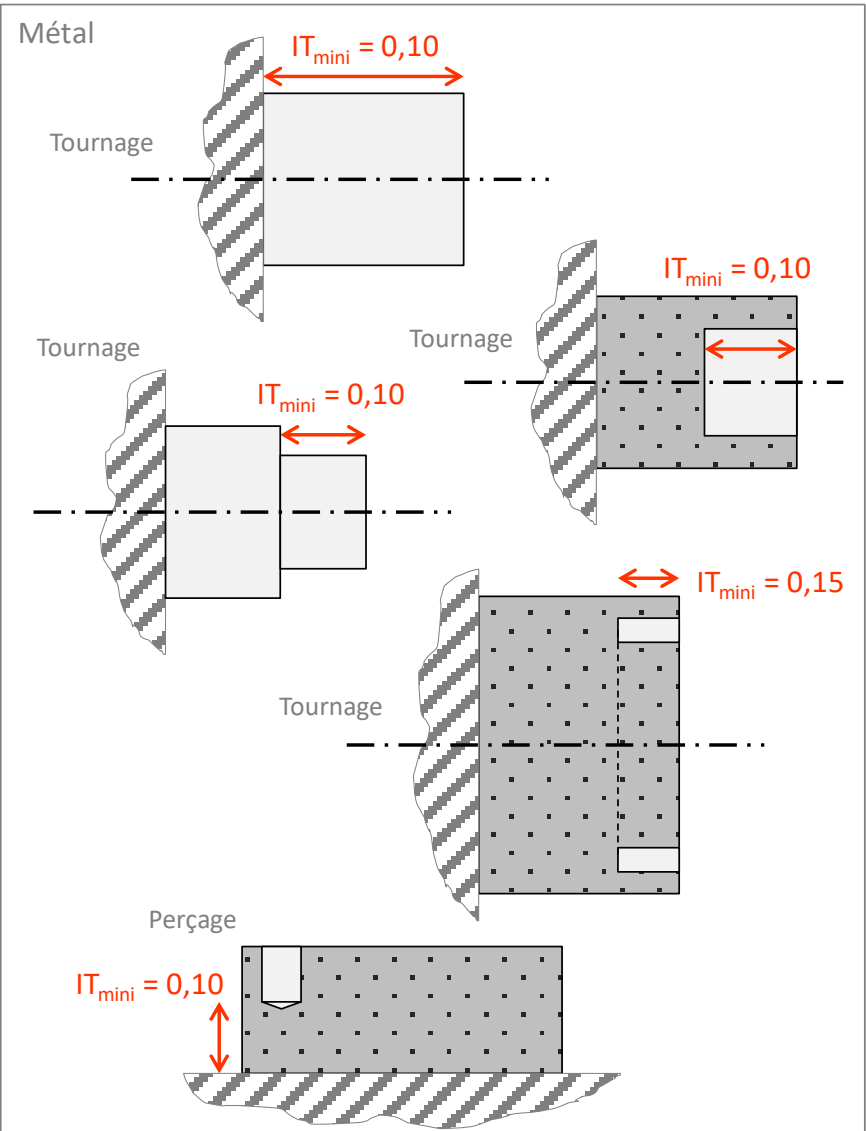


Caoutchouc

Quel que soit le process, on a : $IT_{\text{mini}} = 0,35$

Visserie

$IT_{\text{mini}} = 0,20$

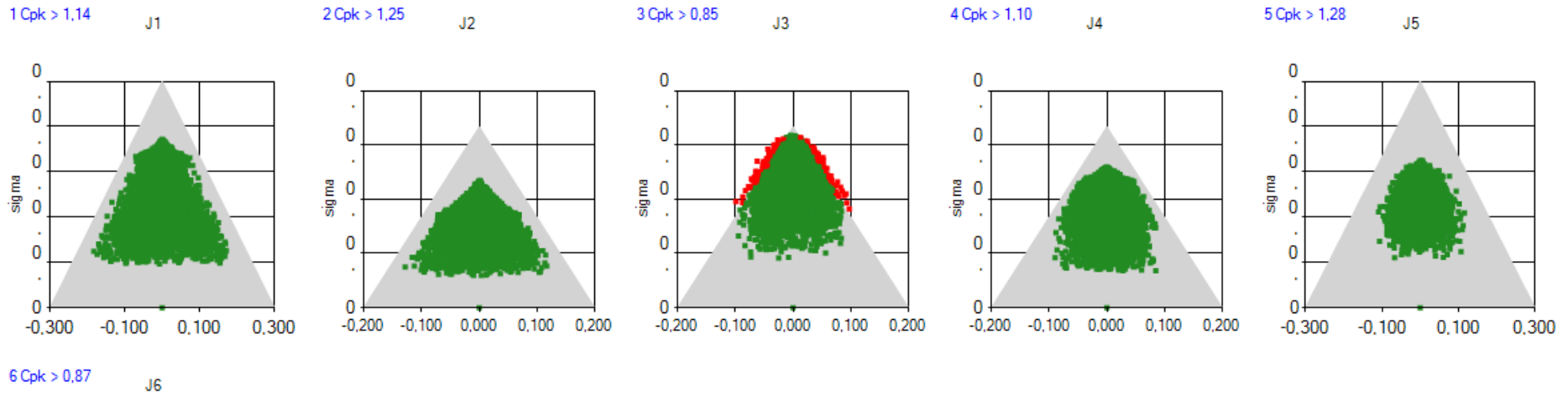


Exemple de simulation de validation, cas 1

1,00 < Capa sur les X (Cp) < 4,00
Capa mini sur les X (Cpk ou Cpi) 1,00
Nombre de lots à assembler 5000
 Simulation aux extrêmes

CALCULER
SIMULER

	F	R	B	M	T	H	L	C	X	P	S	D							
Pire des cas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Statistique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Statist & moy 1/3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inertiel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inertiel corrigé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inertiel pondéré	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capabilité mini	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



- La simulation est réalisée en exigeant un **centrage dans le tiers central** pour les cotes statistiques
- Les jeux J3 et J6 ont des **risques raisonnables** d'assemblages comportant des non conformes
 - Si on veut supprimer ces risques, il faut passer en **inertiel modifié** sur les cotes des jeux J3 et J6 (soit T, H, L et C, S, D)

Exemple de simulation de validation, cas 2

1,00 < Capa sur les X (Cp) < 4,00

Capa mini sur les X (Cpk ou Cpi) 1,00

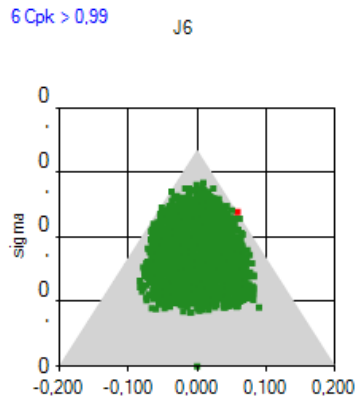
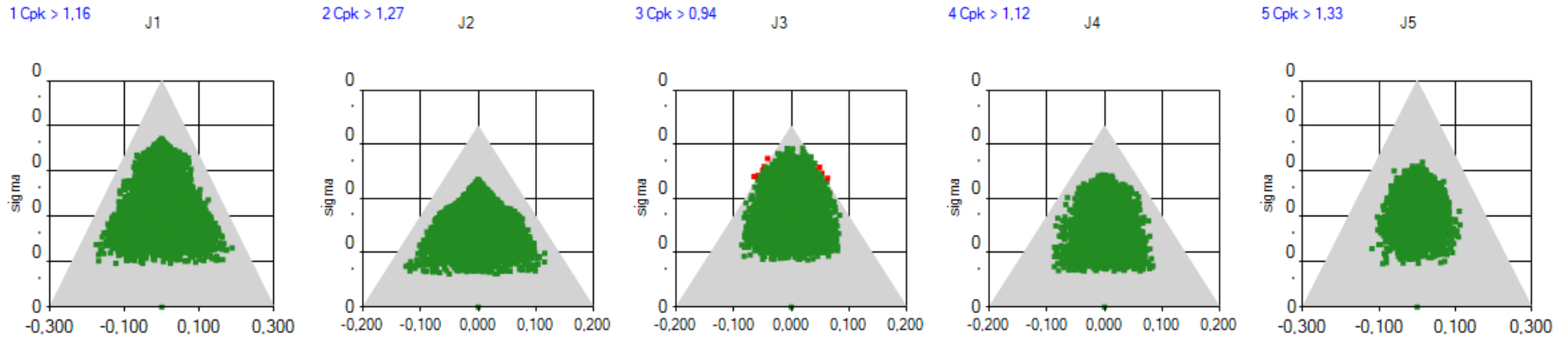
Nombre de lots à assembler 5000

Simulation aux extrêmes

CALCULER

SIMULER

	F	R	B	M	T	H	L	C	X	P	S	D						
Pire des cas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Statistique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Statist & moy 1/3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inertiel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inertiel corrigé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inertiel pondéré	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capabilité mini	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



- Pour les cotes en inertiel, **l'inertie de chaque lot est inférieure à l'inertie corrigée** maximale donnée par le tableau
- Sur 5000 lots assemblés, on peut considérer que la simulation valide le tolérancement sur l'ensemble des jeux

Exemple de simulation avec dégradation de plusieurs cotes avec des $C_{pk} = 0,7$



0,70 < Capa sur les X (Cp) < 4,00

Capa mini sur les X (Cpk ou Cpi) 0,70

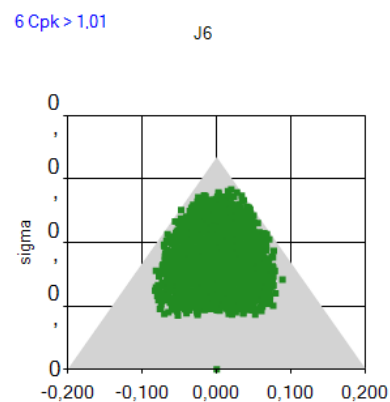
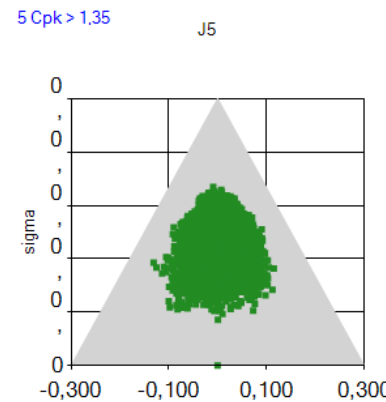
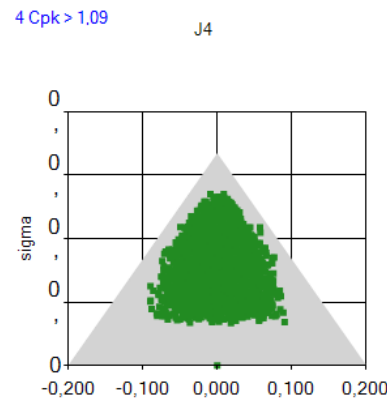
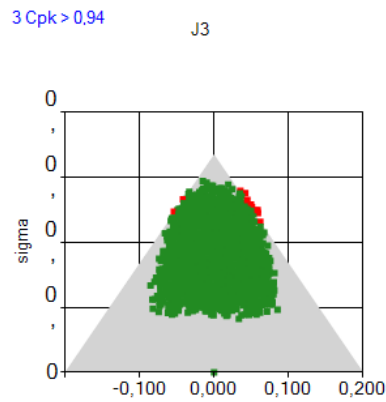
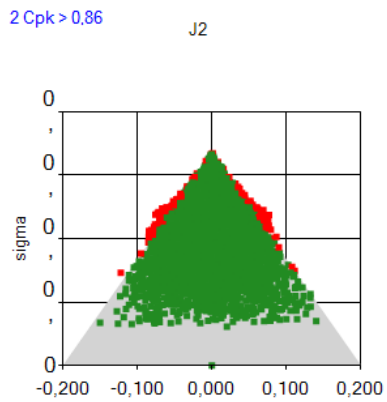
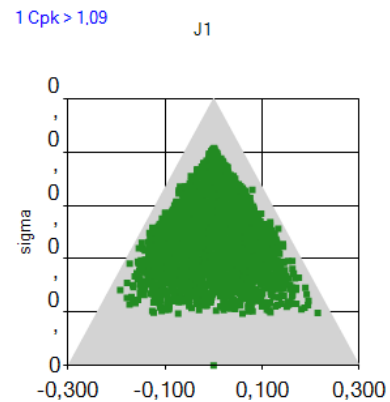
Nombre de lots à assembler 5000

Simulation aux extrêmes

CALCULER

SIMULER

	F	R	B	M	T	H	L	C	X	P	S	D								
Pire des cas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Statistique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Statist & moy 1/3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inertiel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inertiel corrigé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inertiel pondéré	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capabilité mini	0,7	1	0,7	0,7	1	1	1	1	0,7	1	1	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7



■ Malgré que TOUTES les cotes de gravité 2 (et au pire des cas) ont des C_{pk} de 0,7 (très mauvais), les risques sont limités

F	R	B	M	T	H	L	C	X	P	S	D
Pire des Cas	Pire des Cas	Pire des Cas	Pire des Cas	Stat	Stat	Stat	Stat	Pire des Cas	Stat	Stat	Stat
2	3	2	2	3	3	3	4	2	2	2	2

- La fabrication doit dire ce qu'elle est capable de produire
- Pour tolérer ses plans, la conception doit :
 - Définir les niveaux de criticités des jeux présents dans le mécanisme
 - Prendre en considération les capacités de la production
 - Préciser quelle méthode de tolérancement elle applique
 - *"Rien ne sert de tout resserrer : il faut aller au plus utile, et laisse la marge possible"*
- Dans les cas où $IT_{\text{plan}} < IT_{\text{fabricable}}$: concepteur et fabricant doivent trouver des palliatifs pour réduire la non-conformité sur le produit final :
 - En améliorant les capacités de la fabrication (réduction de la variabilité, amélioration de process, montée en compétences, ...)
 - En renforçant la politique de contrôle (mais cette solution demeure curative, et génère des coûts de non-qualité)
- Le travail collaboratif entre Conception et Production est primordial



Conformité
(du produit & des caractéristiques)

6 sigma

Dispersion

Décentrage

Tolérancement au pire des cas
(arithmétique)

Tolérancement statistique
(quadratique)

Tolérancement inertiel

Tolérancement inertiel corrigé

Règles d'additivité des paramètres
(moyennes, variances)

Simulation Monte Carlo

Inertie

Inertie maximale

Criticité des caractéristiques

Hierarchisation des caractéristiques

Capacités de production

Conception fabricable

Modalités d'utilisation du Jeu du Tolérancement, du pire des cas à l'inertiel®

Diverses formules de mise en œuvre du jeu
sont possibles : *n'hésitez pas à nous contacter*

Contact : **Nadia GHARBI**

Tél. : 01 40 64 59 18

Mail : info@cipe.fr

■ Acquisition du jeu :

- Matériel
- Licence d'utilisation
- Option de formation de mise en main
(formation des futurs formateurs
à l'utilisation du jeu)
- Option de customisation du jeu à votre
problématique

■ Achat d'une animation du jeu :

- Réalisée par un animateur du CIPE
- Incluant le matériel mis en œuvre
- Option de customisation de l'animation à votre
problématique

- Le jeu peut être **customisé**, à divers
niveaux :
 - Vocabulaire utilisé
 - Choix de chapitres spécifiques du jeu
existant
 - Ajout de concepts / chapitres
 - Adaptation du jeu à un nombre de
stagiaires important
 - Etc.



Une étude basée sur un simulateur
pour étudier et mettre en œuvre les plans d'expérience de manière simple

- Faire découvrir aux participants une démarche expérimentale pour optimiser les performances d'un produit ou d'un processus
- À l'issue de cette formation, les participants auront compris ce que sont les Plans d'expérience et appris à les mettre en œuvre selon la méthode TAGUCHI
- Adaptation du scénario aux objectifs de la formation :
 - Le scénario comporte :
 - une 1^{ère} partie obligatoire
 - une 2^{ème} partie optionnelle : celle-ci sera mise en œuvre en fonction du temps disponible et des objectifs pédagogiques
 - Le scénario comporte des parties pratiques et des parties théoriques.
 - Celles-ci peuvent être développées soit pendant le jeu, soit après.
 - Si les participants ont déjà les connaissances théoriques avant de commencer le jeu, on peut s'en passer et le Jeu sert seulement de mise en application.



- Public concerné :
 - niveau baccalauréat (pour la première partie)
 - connaissances plus avancées en mathématiques telles que les logarithmes et la variance (pour la seconde partie)
- Taille du groupe : entre 4 et 20 personnes
- Avec deux équipes et une seule catapulte, la simulation est ralentie (1h00 en plus environ)



- 1^{ère} partie : une demi-journée
- 2^{ème} partie : une demi-journée

1. INTRODUCTION GÉNÉRALE

Historique et objectifs

2. PRÉSENTATION DE LA CATAPULTE

Prise en mains par les participants

3. INTRODUCTION AU PLAN D'EXPÉRIENCE

Facteurs influents, effet d'un facteur, interactions, représentation graphique, table orthogonale, plan complet, plan fractionnaire, tables de Taguchi.

4. CONDUITE DES ESSAIS

Préparation des essais. Réalisation. Calculs. Mise en application des réglages choisis. Validation des résultats. Analyse de la variance.

5. ROBUSTESSE ET PLANS PRODUITS

Fonction Perte de Qualité. Ratio Signal / Bruit. Robustesse et Plans Produits. Exercice d'application de Plan Produit.

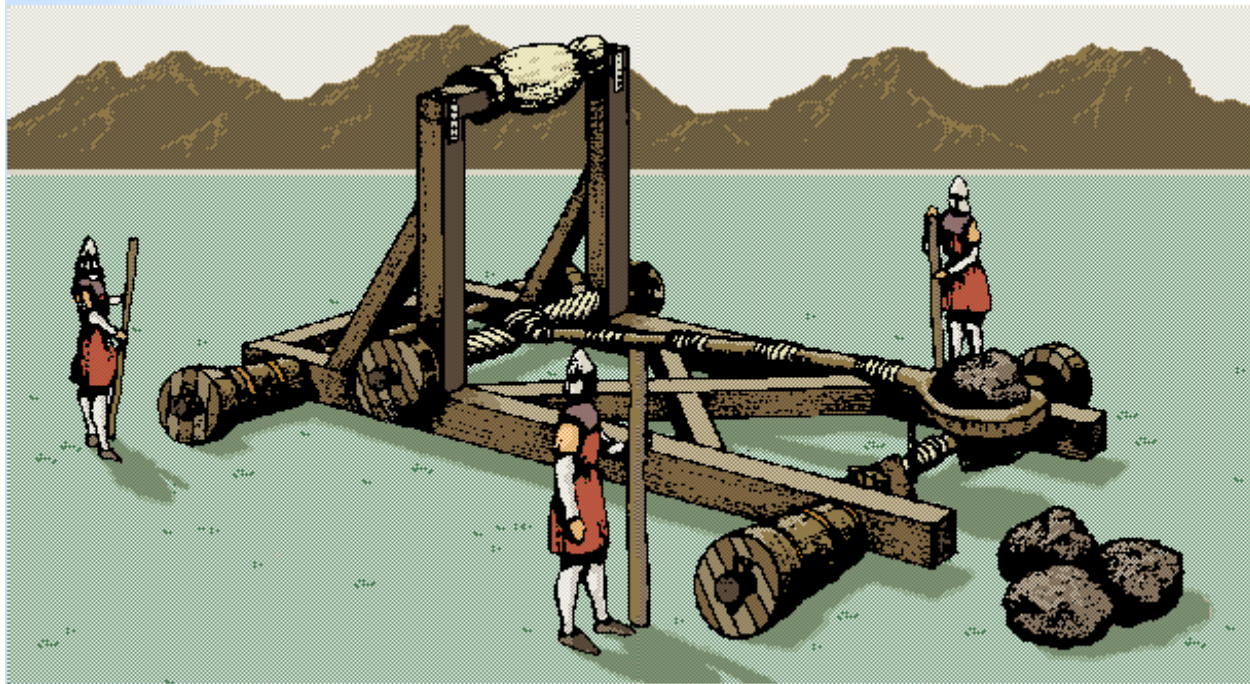
6. PLAN PRODUIT AVEC LA CATAPULTE

Application du concept de robustesse à la catapulte.

7. LA CONDUITE D'UN PLAN D'EXPÉRIENCE EN ENTREPRISE

Le déroulement d'un plan d'expérience en entreprise.

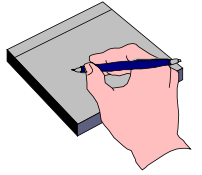
2. PRÉSENTATION DE LA CATAPULTE



Nous avons retrouvé une vieille catapulte utilisée par les Romains en 50 avant J.C. mais sans son mode d'emploi.

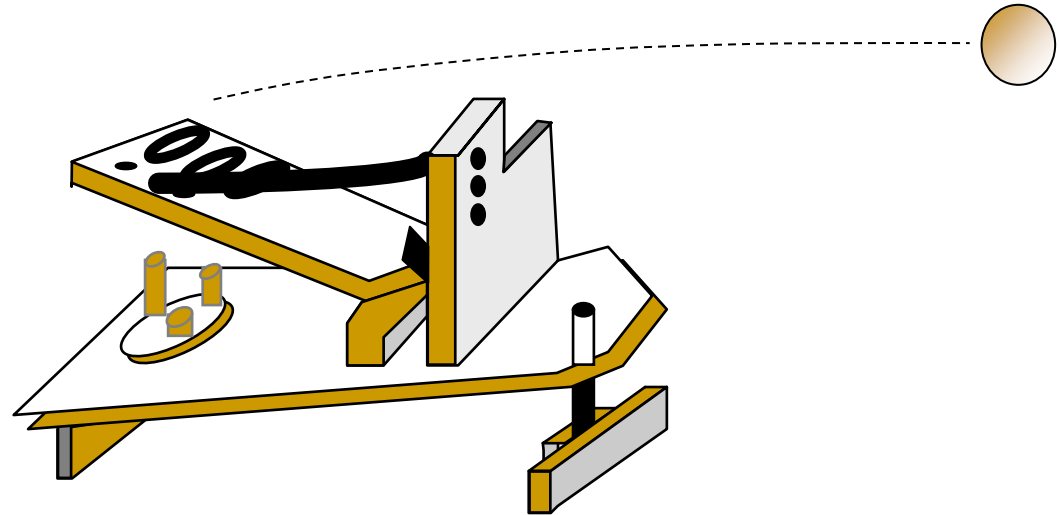
Nous vous proposons de redécouvrir le savoir-faire des Romains.

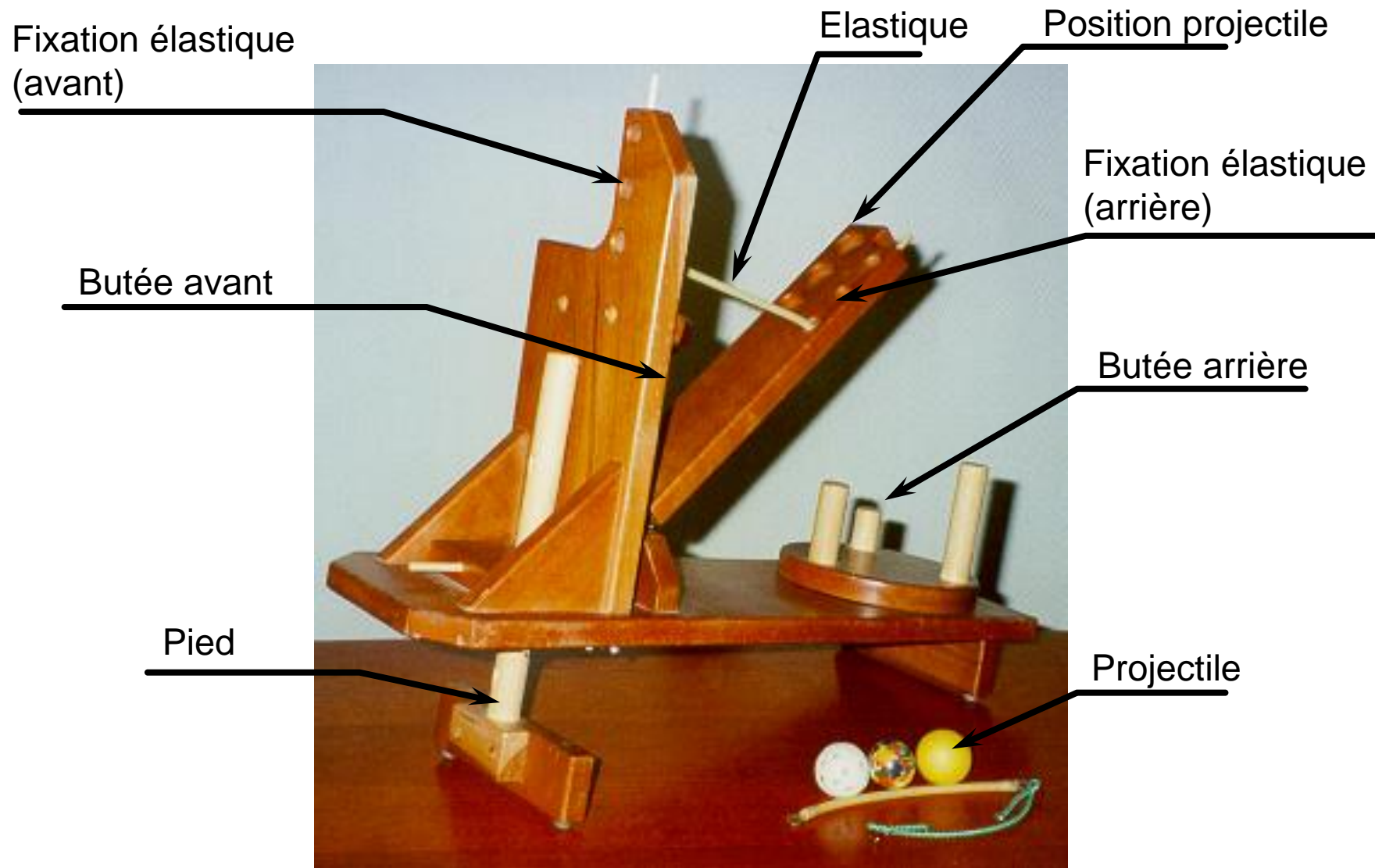


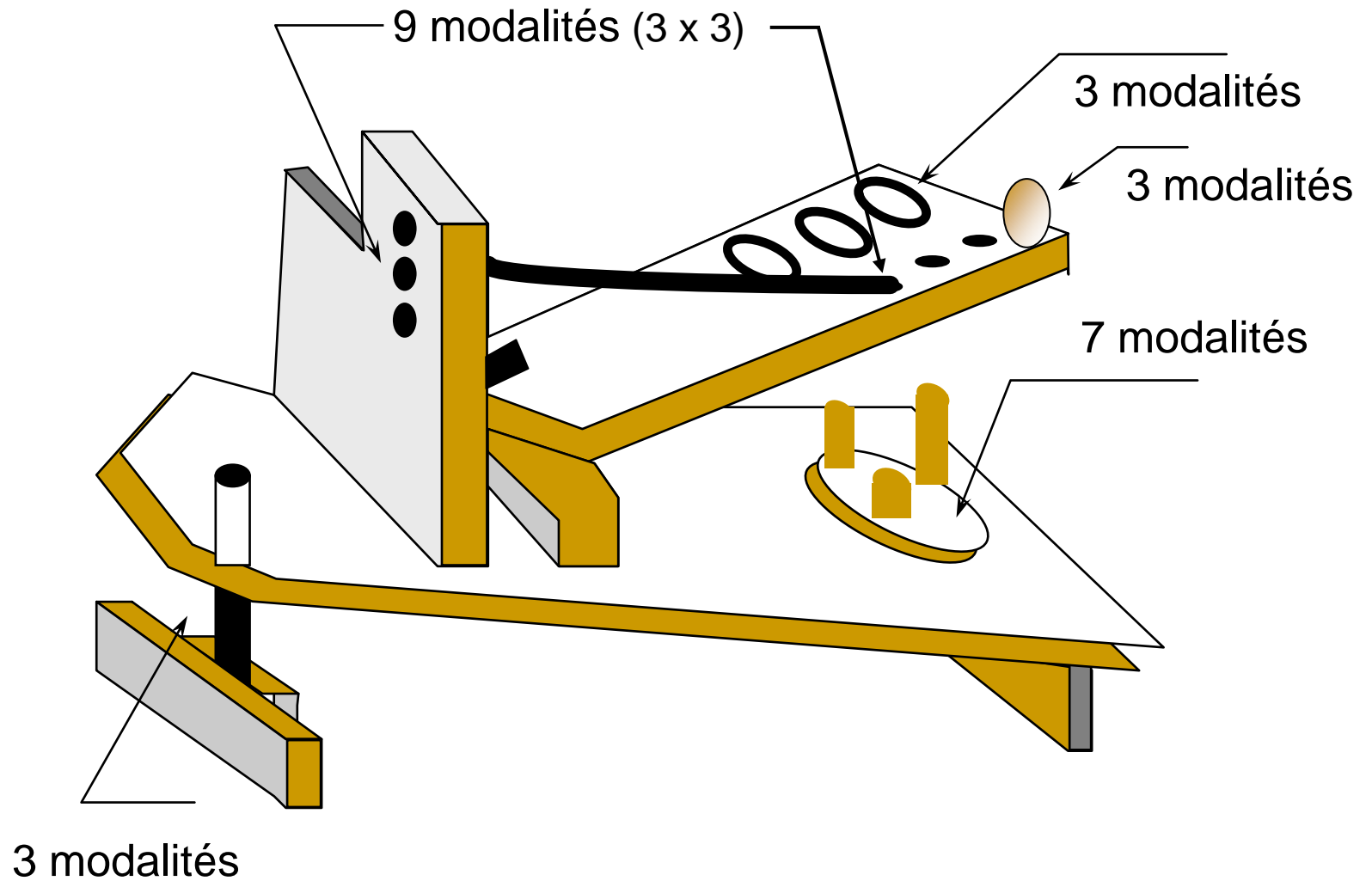


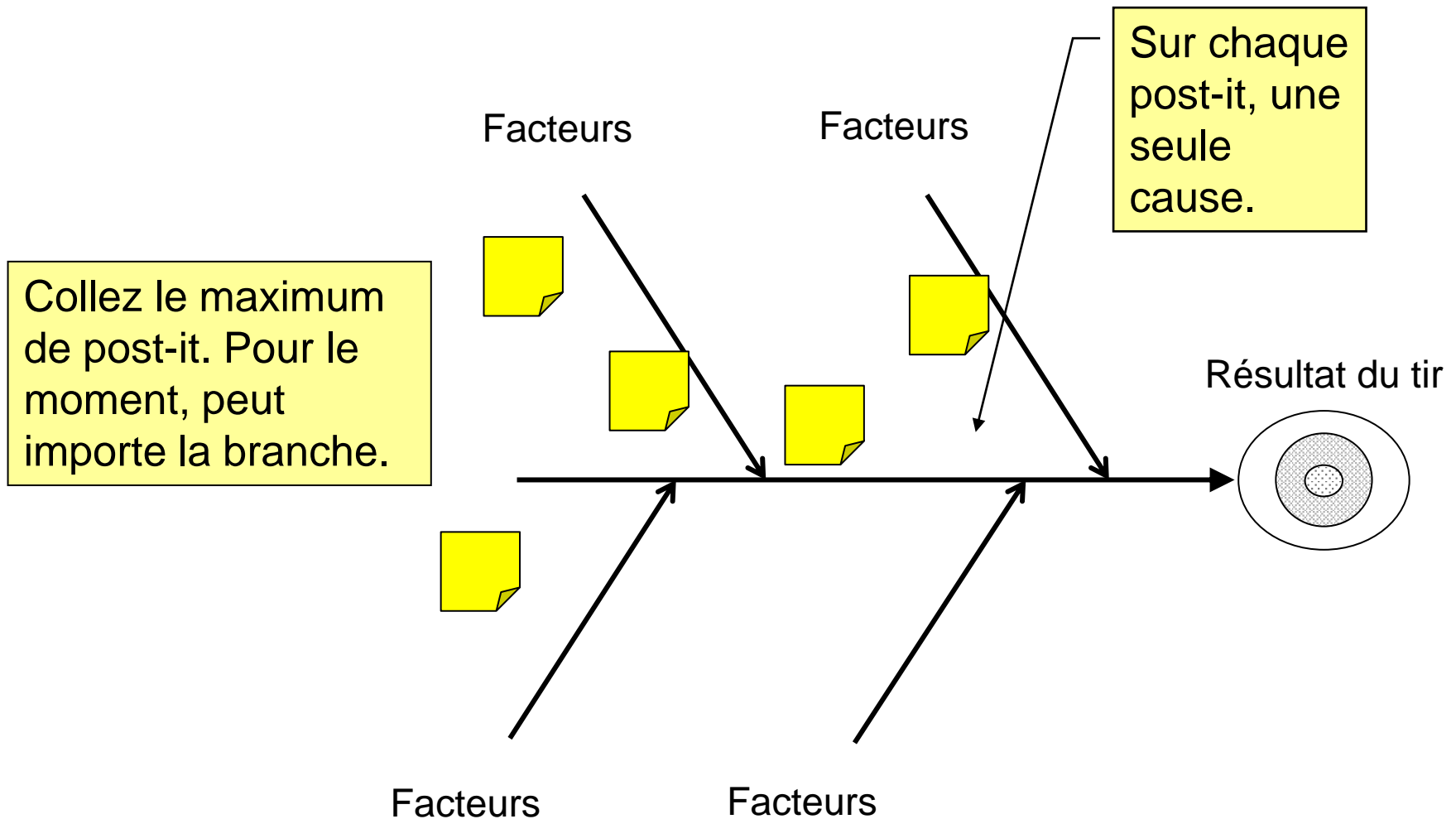
1. Faîtes des essais avec la catapulte pour découvrir ses différents réglages.
2. Mesurez et notez à chaque essai la distance atteinte.
3. Calculez la distance moyenne atteinte sur l'ensemble des essais.

- Objectif stratégique ?
 - *Gagner la bataille*
- Objectif du tir ?
 - *Tirer loin et précis*
- Moyen pour y parvenir ?
 - *Maîtriser le fonctionnement de la catapulte*
- Mesure ?
 - *Distance entre le pied de la catapulte et le point d'impact*

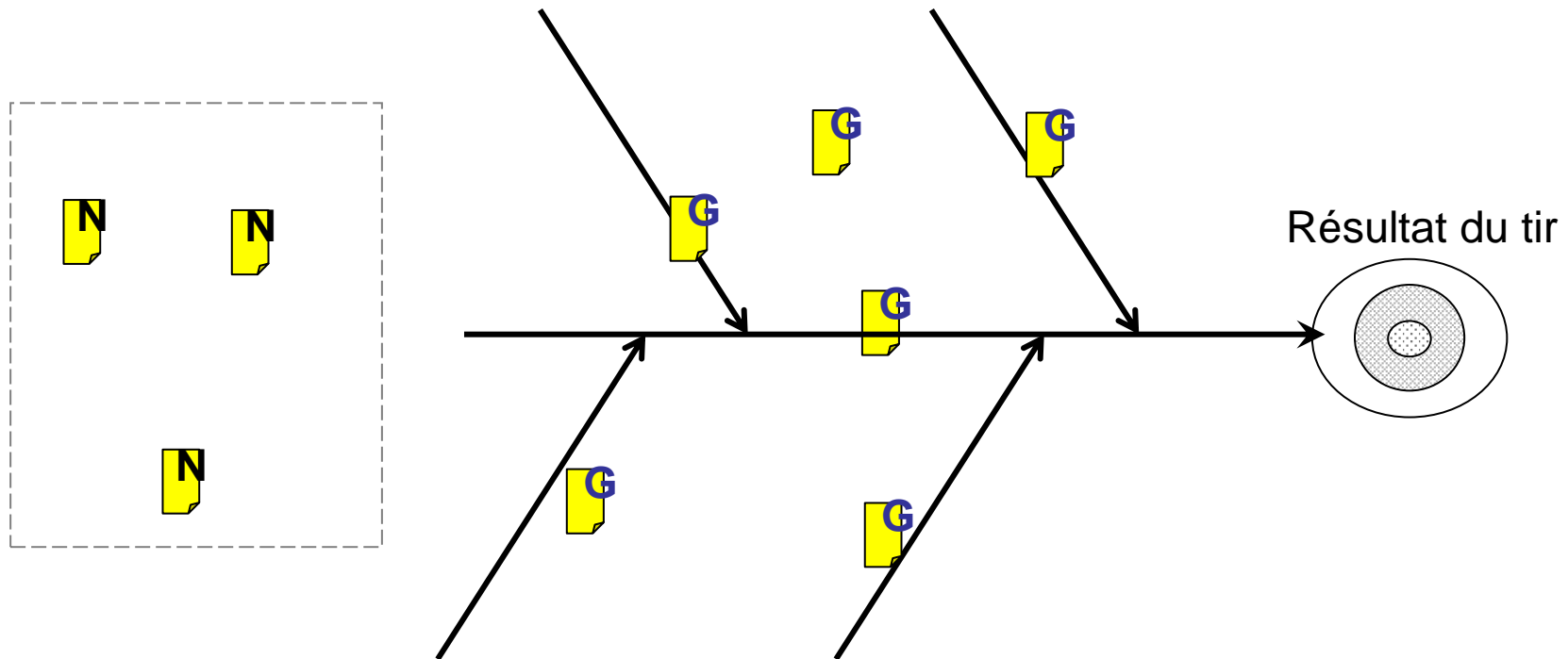








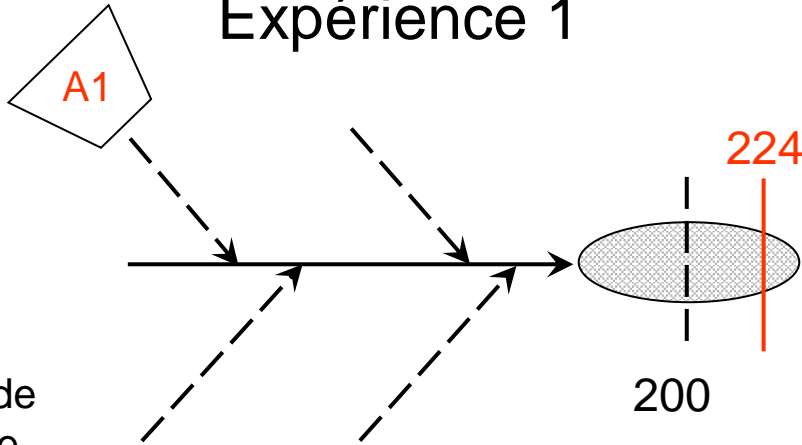
1. Écrire G ou N sur chaque ticket (Gérable on Non gérable)
2. Placez les tickets N dans la partie gauche



3. INTRODUCTION AU PLAN D'EXPÉRIENCE

Expérience 1

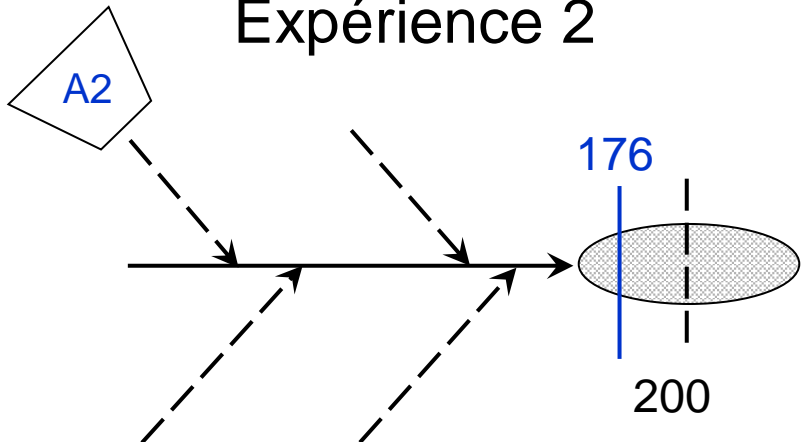
tension forte



position de l'élastique

Expérience 2

tension faible

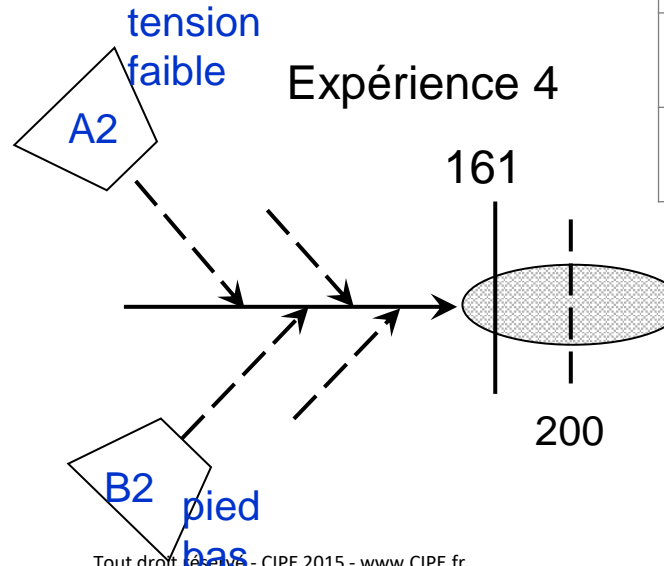
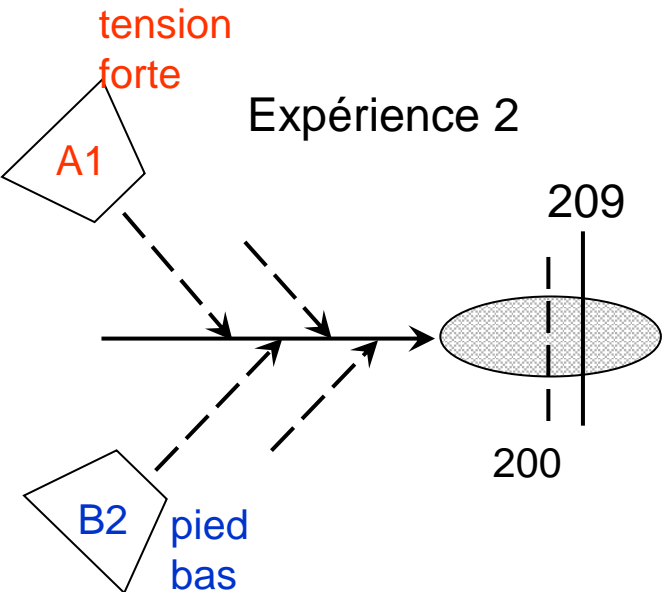
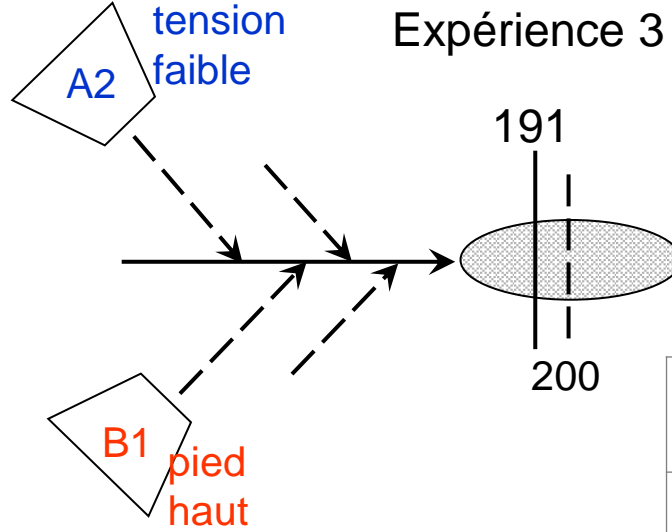
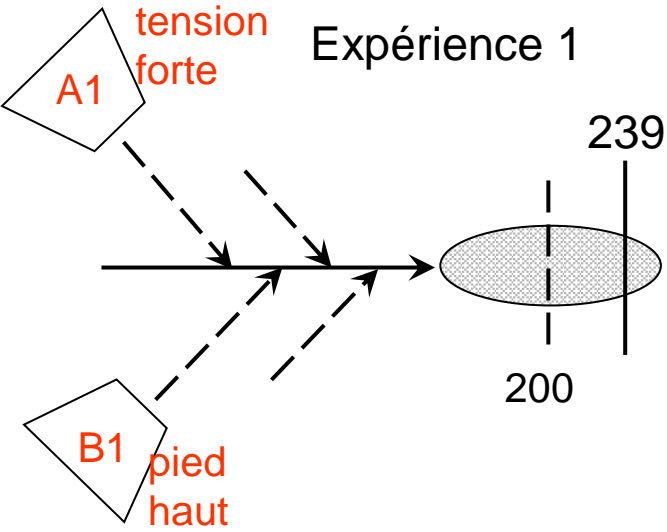


Expér.	Moyenne	Effet de A	Réponse
1	1	1	224
2	1	2	176

Effet de A (niveau 1) = + 24 cm,

Effet de A (niveau 2) = - 24 cm.

L'effet de deux facteurs : la position de l'élastique et le pied



Exp.	Moy.	Effet de A	Effet de B	Rép.
1	1	1	1	239 cm
2	1	1	2	209 cm
3	1	2	1	191 cm
4	1	2	2	161 cm

Exp.	Moy.	Effet de A	Effet de B	Rép.
1	1	1	1	239 cm
2	1	1	2	209 cm
3	1	2	1	191 cm
4	1	2	2	161 cm

La moyenne est de : 200 cm

Les expérience avec A au niveau 1 donnent en moyenne : $(239 \text{ cm} + 209 \text{ cm}) / 2 = 224 \text{ cm}$

L'effet de A au niveau 1 est donc égal à : $224 \text{ cm} - 200 \text{ cm} = 24 \text{ cm}$

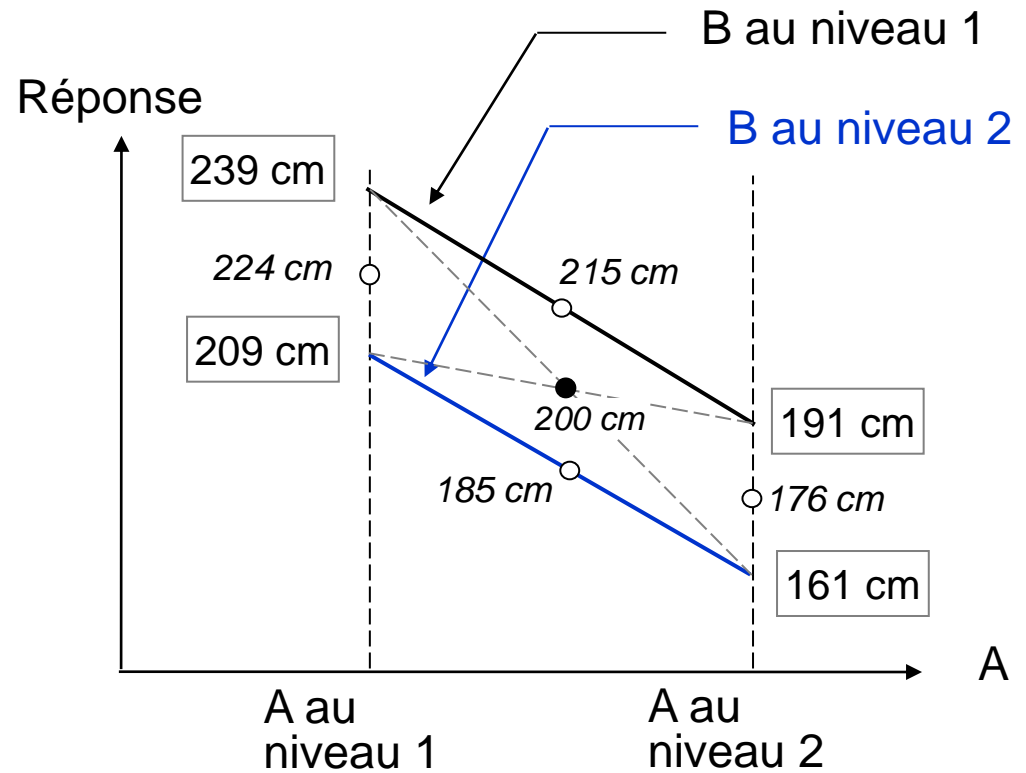
Les expérience avec A au niveau 2 donnent en moyenne : $(191 \text{ cm} + 161 \text{ cm}) / 2 = 176 \text{ cm}$

L'effet de A au niveau 2 est égal à : $176 \text{ cm} - 200 \text{ cm} = - 24 \text{ cm}$

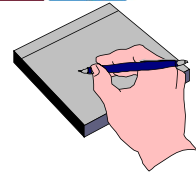
L'effet de B au niveau 1 est égal à : $(239 + 191) / 2 - 200 = 15 \text{ cm}$

L'effet de B au niveau 2 est égal à : $(209 + 161) / 2 - 200 = - 15 \text{ cm}$

Exp.	Moy.	Effet de A	Effet de B	Rép.
1	1	1	1	239 cm
2	1	1	2	209 cm
3	1	2	1	191 cm
4	1	2	2	161 cm



Saturation d'une table avec un 3^{ème} facteur C



Expérience	Moyenne	Effet de A	Effet de B	Effet de C	Réponse
1	1	1	1	1	183 cm
2	1	1	2	2	265 cm
3	1	2	1	2	247 cm
4	1	2	2	1	105 cm

Table orthogonale :
pour chaque niveau
d'un facteur, les autres
facteurs sont autant de
fois à un niveau qu'à
un autre

Moyenne : $(183 + 265 + 247 + 105) / 4 = 200 \text{ cm}$

Effet de A au niveau 1 : $(183 + 265) / 2 - 200 = 24 \text{ cm}$

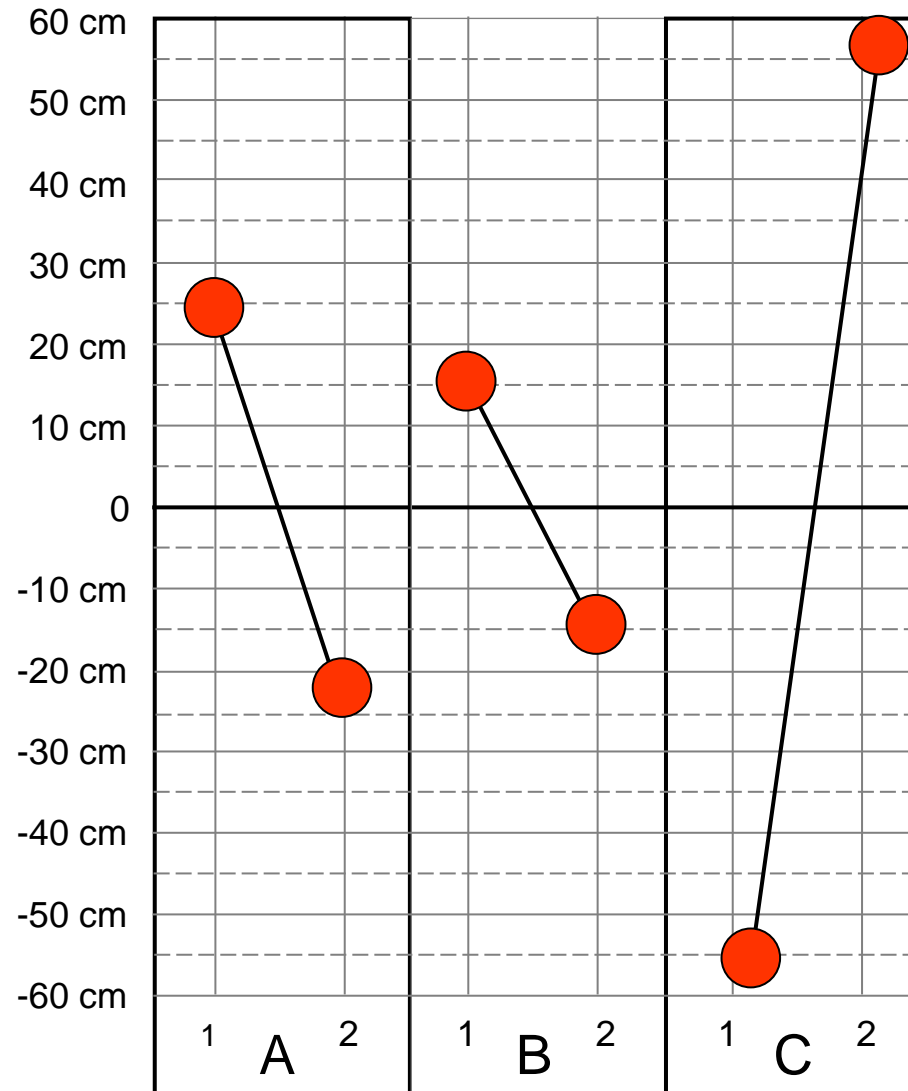
Effet de A au niveau 2 : $(247 + 105) / 2 - 200 = - 24 \text{ cm}$

Effet de B au niveau 1 : $(183 + 247) / 2 - 200 = 15 \text{ cm}$

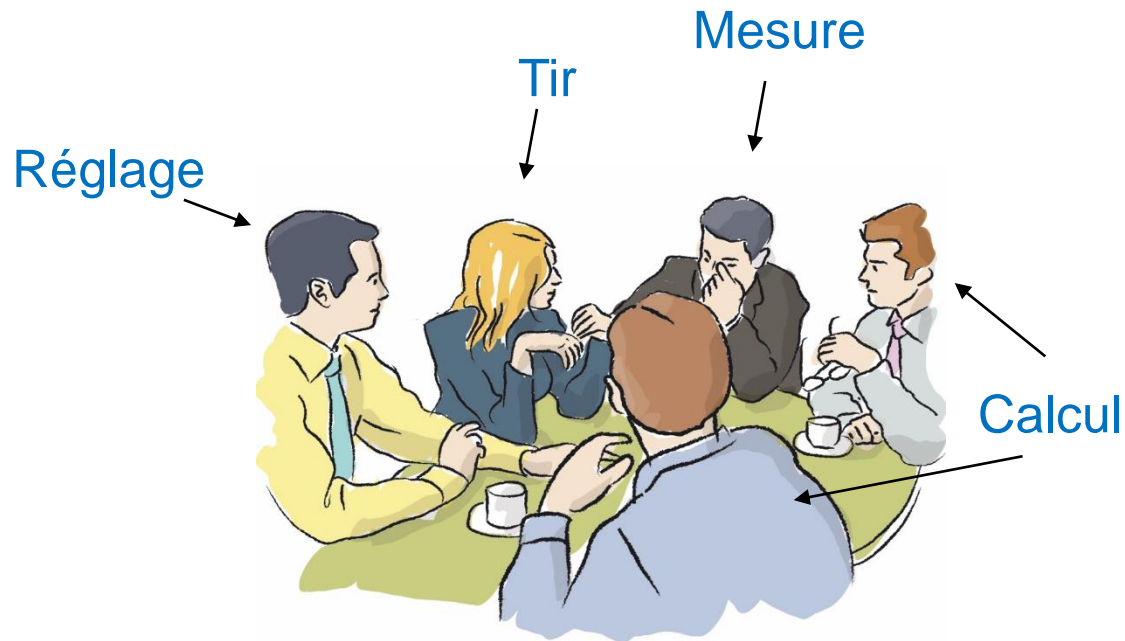
Effet de B au niveau 2 : $(265 + 105) / 2 - 200 = - 15 \text{ cm}$

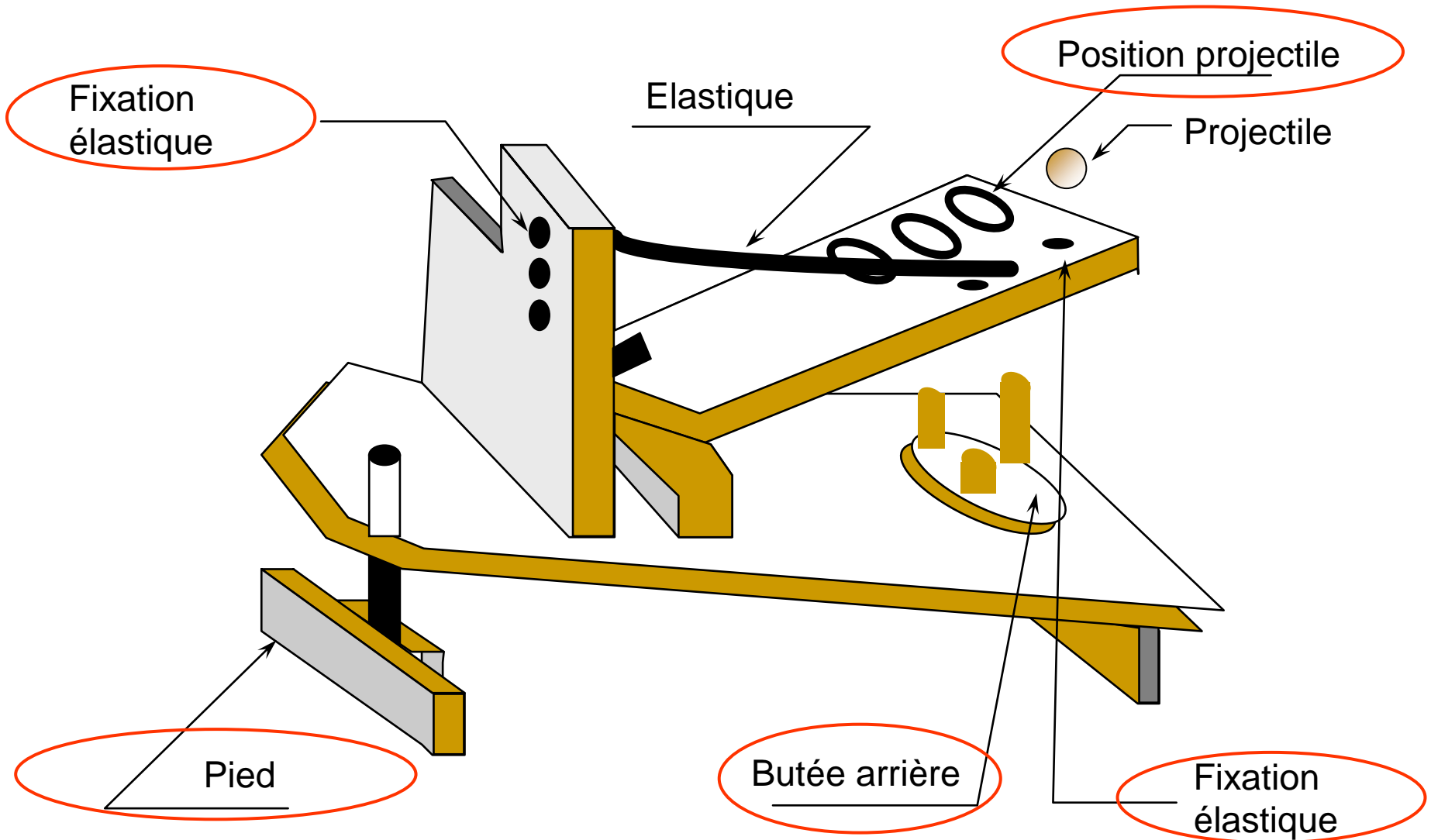
Effet de C au niveau 1 : $(183 + 105) / 2 - 200 = - 56 \text{ cm}$

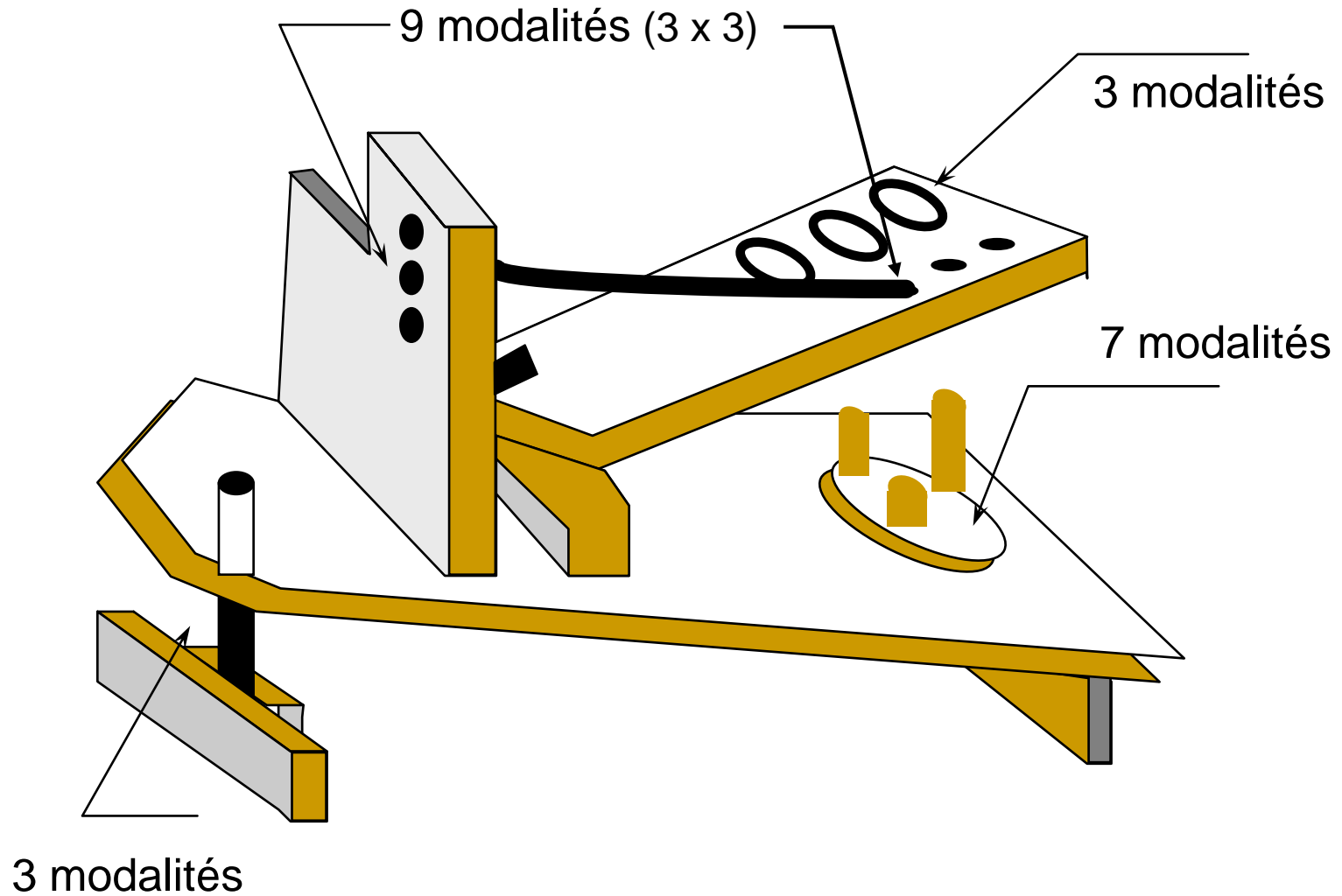
Effet de C au niveau 2 : $(265 + 247) / 2 - 200 = + 56 \text{ cm}$



4. CONDUITE DES ESSAIS



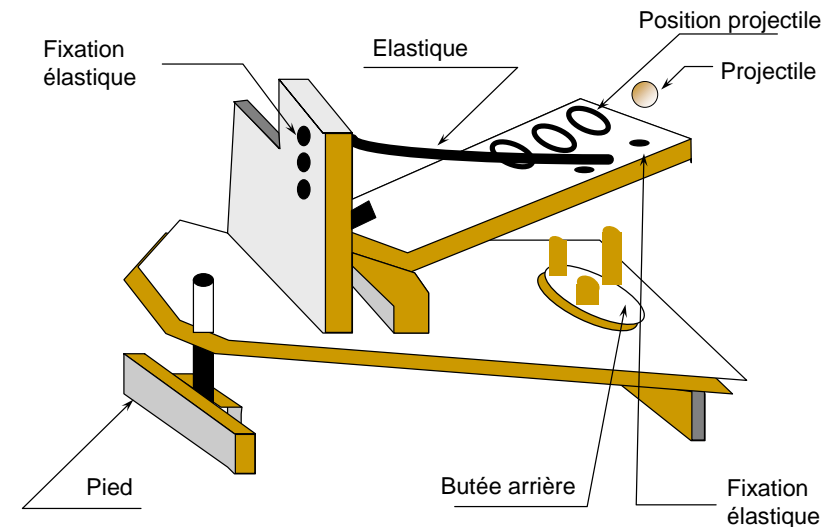




	A	B	AB	D	AD	AC	C
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

A :	B :
Réglage 1 :	Réglage 1 :
Réglage 2 :	Réglage 2 :
C :	D :
Réglage 1 :	Réglage 1 :
Réglage 2 :	Réglage 2 :

Table L8 (2/7)
8 expériences, 2 modalités, 7 paramètres





Définition des conditions de l'expérimentation

- Où placer la catapulte ?
- Comment s'assurer qu'elle ne change pas de place entre deux tirs ?
- Comment réduire les vibrations ?
- L'effet du vent ?
- Comment s'assurer de la précision de la mesure ?

	A	B	AB	D	AD	AC	C	Résultat
1	1	1	1	1	1	1	1	R1
2	1	1	1	2	2	2	2	R2
3	1	2	2	1	1	2	2	R3
4	1	2	2	2	2	1	1	R4
5	2	1	2	1	2	1	2	R5
6	2	1	2	2	1	2	1	R6
7	2	2	1	1	2	2	1	R7
8	2	2	1	2	1	1	2	R8

$$\text{Moyenne} = (R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7+R8) / 8$$

$$\text{Effet de A au niveau 1} = (R1+R2+R3+R4) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de A au niveau 2} = (R5+R6+R7+R8) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de B au niveau 1} = (R1+R2+R5+R6) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de B au niveau 2} = (R3+R4+R7+R8) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de AB au niveau 1} = (R1+R2+R7+R8) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de AB au niveau 2} = (R3+R4+R5+R6) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de D au niveau 1} = (R1+R3+R5+R7) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de D au niveau 2} = (R2+R4+R6+R8) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de AD au niveau 1} = (R1+R3+R6+R8) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de AD au niveau 2} = (R2+R4+R5+R7) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de AC au niveau 1} = (R1+R4+R5+R8) / 4 - \text{Moy.}$$

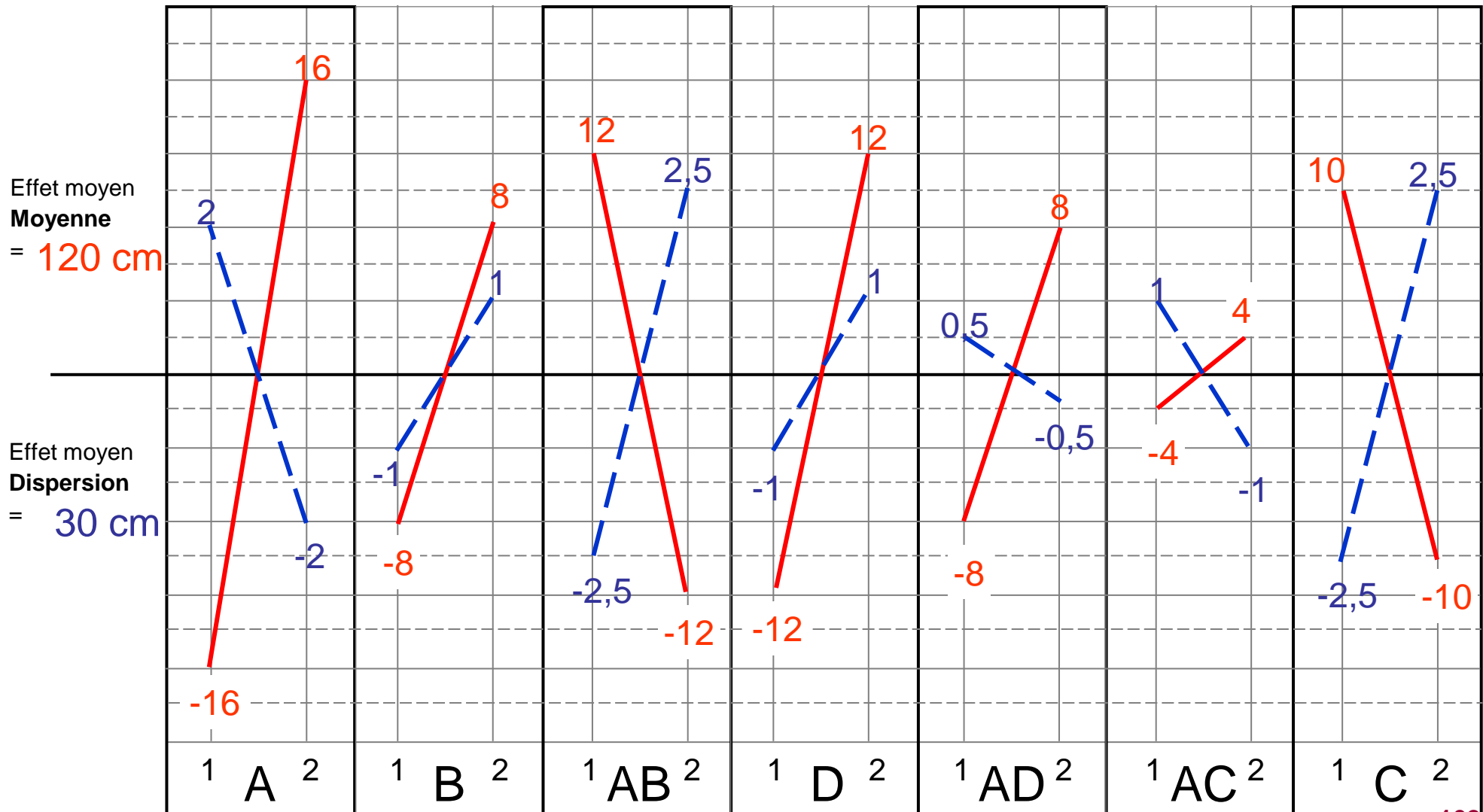
$$\text{Effet de AC au niveau 2} = (R2+R3+R6+R7) / 4 - \text{Moy.}$$

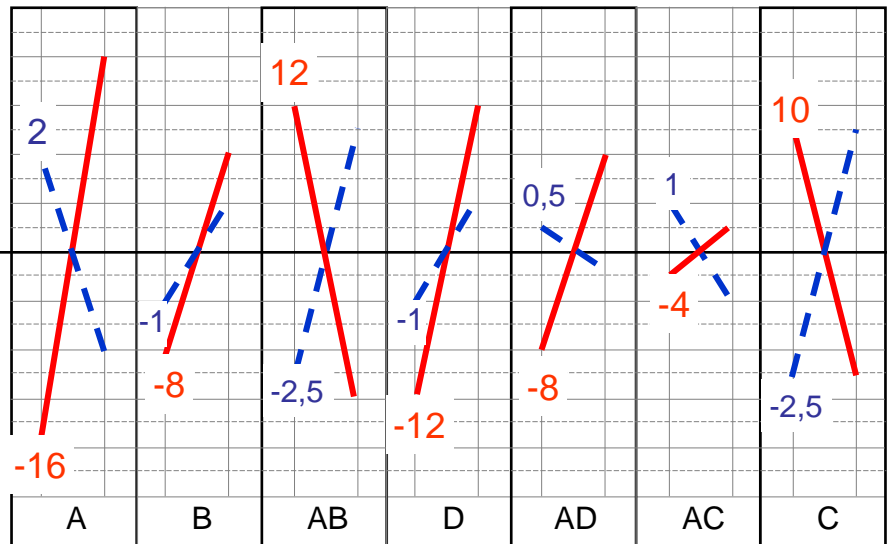
$$\text{Effet de C au niveau 1} = (R1+R4+R6+R7) / 4 - \text{Moy.}$$

$$\text{Effet de C au niveau 2} = (R2+R3+R5+R8) / 4 - \text{Moy.}$$

Échelle des moyennes : 4 cm / graduation

Échelle des dispersions : 1 cm / graduation





$$\begin{aligned}
 \text{Distance} &= 120 + (-16, +16) \begin{matrix} A1 \\ A2 \end{matrix} + (-8, +8) \begin{matrix} B1 \\ B2 \end{matrix} \\
 &+ (+12, -12) \begin{matrix} AB1 \\ AB2 \end{matrix} + (-12, +12) \begin{matrix} D1 \\ D2 \end{matrix} + (-8, +8) \begin{matrix} AD1 \\ AD2 \end{matrix} \\
 &+ (-4, +4) \begin{matrix} AC1 \\ AC2 \end{matrix} + (+10, -10) \begin{matrix} C1 \\ C2 \end{matrix}
 \end{aligned}$$

1. Tirer le plus loin possible (distance maximale)

A en 2, AB en 1 (donc B en 2), D en 2 (donc AD en 1), C en 1 (donc AC en 2)

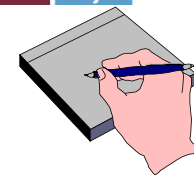
$$\text{Distance} = 120 + 16 + 12 + 8 + 12 - 8 + 10 + 4 = 174 \text{ cm}$$

2. Tirer avec le plus de précision (dispersion minimale)

C en 1, AB en 1, A en 2 (donc AC en 2 et B en 2), D en 1 (donc AD en 2)

$$\text{Dispersion} = 30 - 2,5 - 2,5 - 2 - 1 + 1 - 1 - 0,5 = 22,5 \text{ cm}$$

3. Tirer le plus loin possible avec le plus de précision



Réglages choisis :

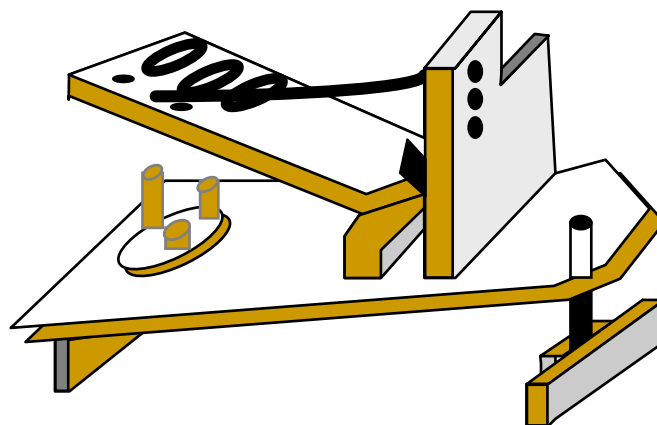
A =

B =

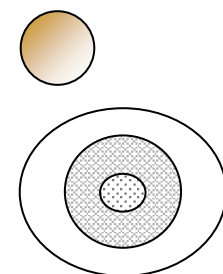
C =

D =

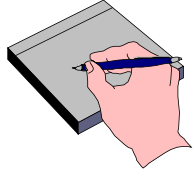
20 tirs



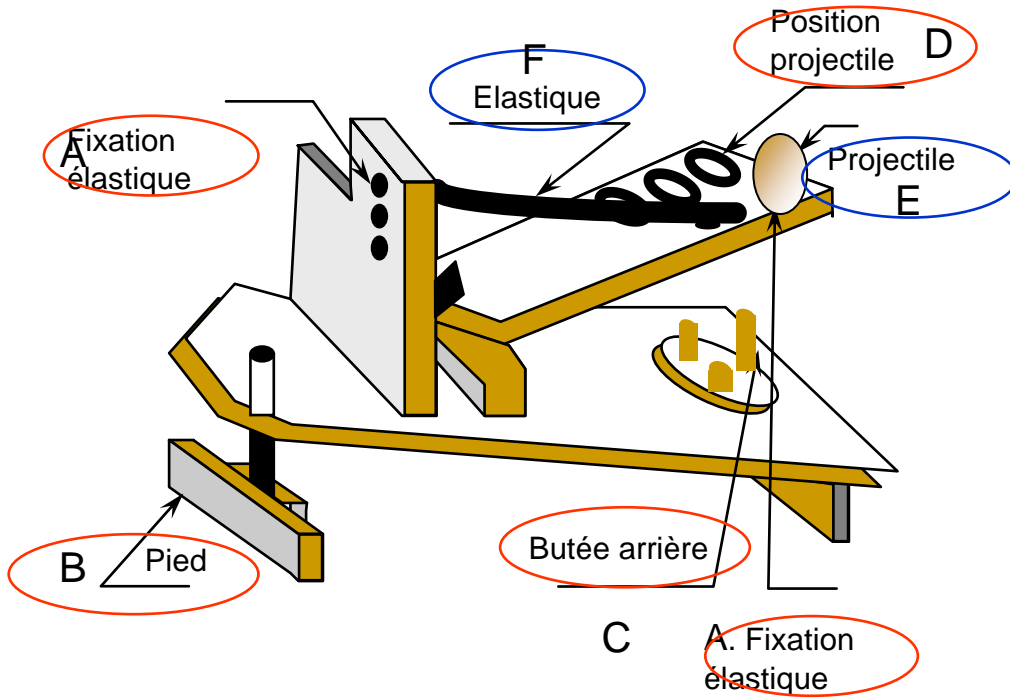
Distance



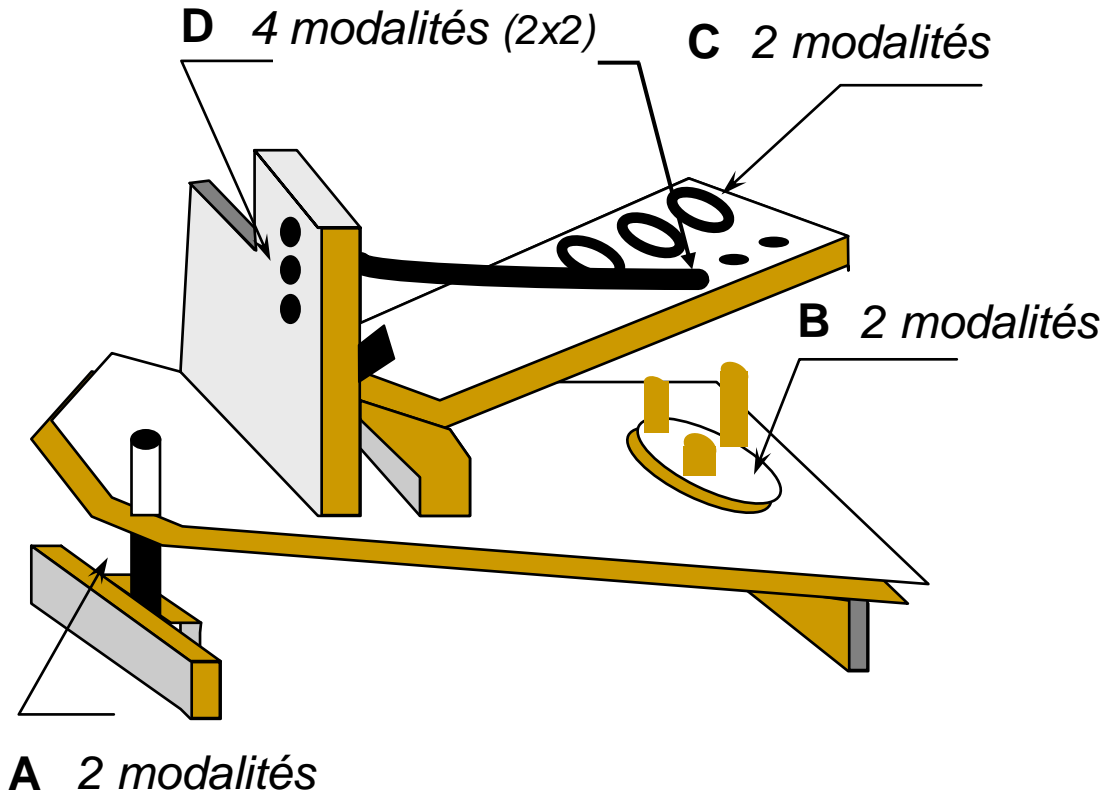
Dispersion



- Définir la performance à optimiser
 - Choisir le moyen de mesure
 - Recenser tous les facteurs agissant sur la réponse
 - Classer les facteurs en gérables et non gérables
 - Déterminer les modalités des facteurs
 - Choisir le Plan d'expérience approprié
 - Organiser le protocole expérimental
 - Réaliser les expérimentations
 - Analyser les résultats
 - Choisir les niveaux donnant l'optimum
 - Valider les choix
- La distance
- Le mètre
- Voir Causes Effet
- Pied (G) / Vibrations (NG)
- Position haute, basse, etc.
- Table L8 (2/7) avec le choix des facteurs A, B, C, D.
- Qui ? Quand ? Comment ?
- Mesurer les résultats
- Faire les calculs
- Réglage
- Vérifier par des essais.



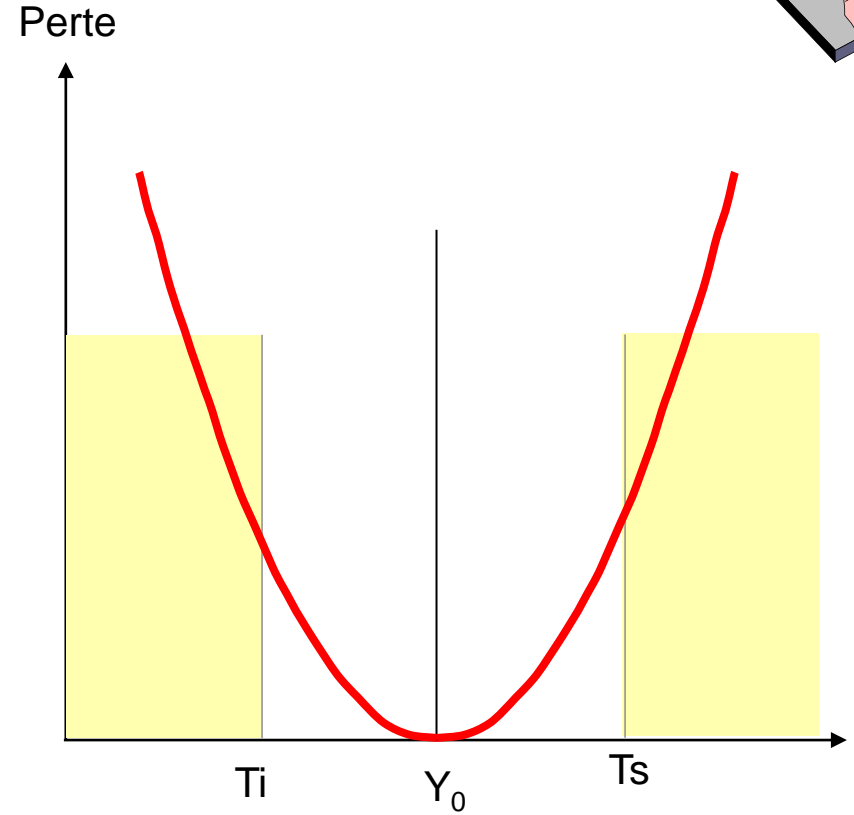
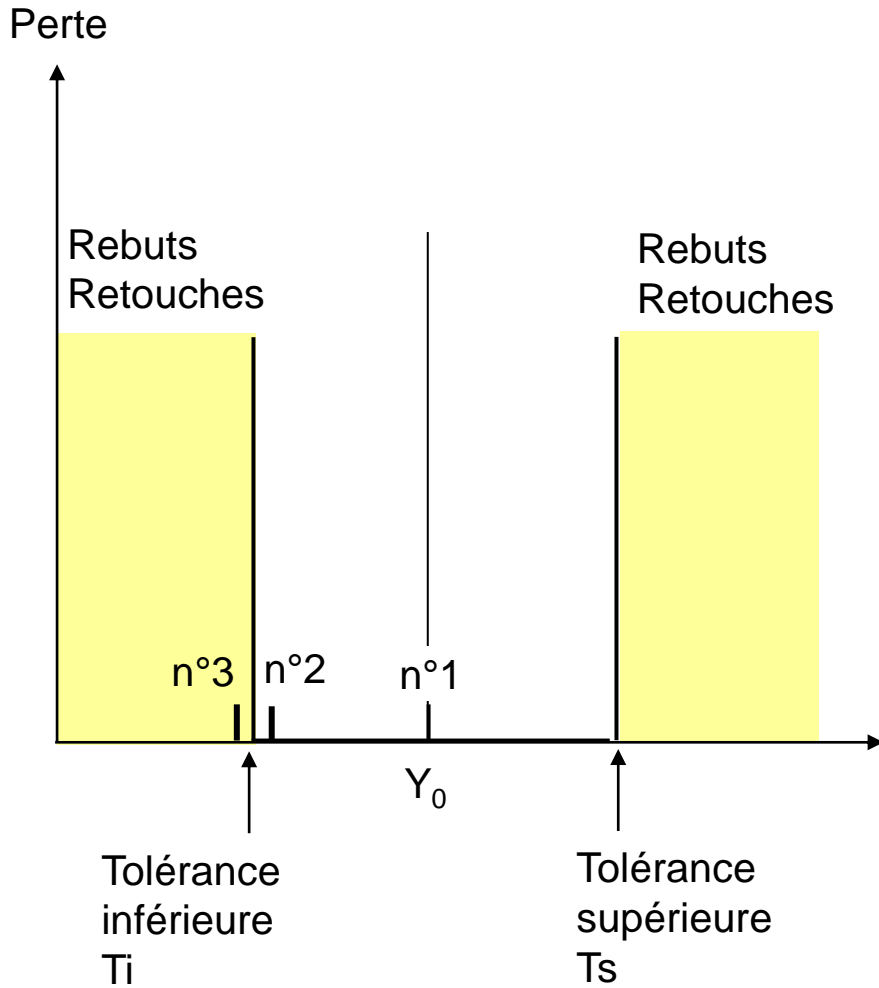
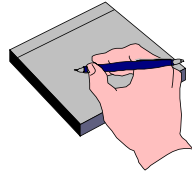
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2



	A	B	AB	C	D		
1	1	1	1	1	1		
2	1	1	1	2	2		
3	1	2	2	1	3		
4	1	2	2	2	4		
5	2	1	2	1	1		
6	2	1	2	2	2		
7	2	2	1	1	3		
8	2	2	1	2	4		

5. ROBUSTESSE ET PLANS PRODUITS

La fonction Perte de Qualité



Cas n°1 : L'optimum est un **Nominal**

Pour un point Y la fonction Perte vaut : $L(Y) = K(Y-Y_0)^2$

Pour un échantillon d'écart type σ centré sur \bar{Y} la fonction Perte vaut : $L(Y) = K(\sigma^2 + (Y-\bar{Y}_0)^2)$

Cas n°2 : L'optimum est un **Minimum**

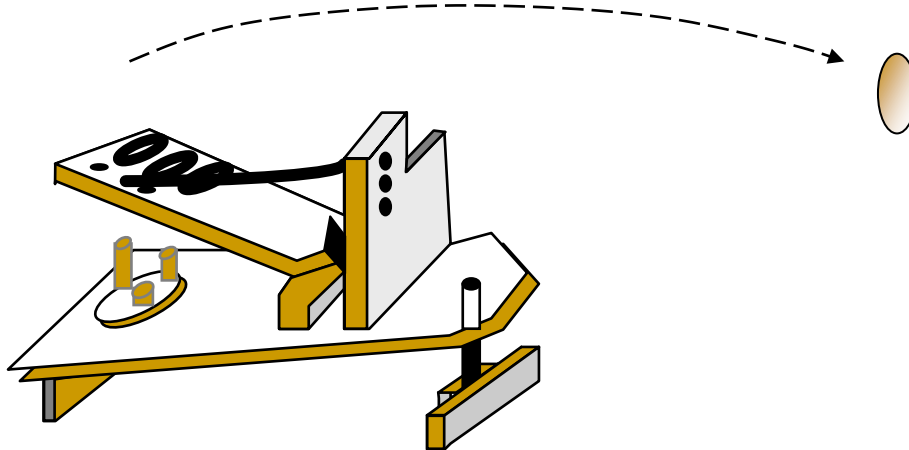
Pour un point Y la fonction Perte vaut : $L(Y) = KY^2$

Pour un échantillon d'écart type σ centré sur \bar{Y} la fonction Perte vaut : $L(Y) = K(\sigma^2 + Y^2)$

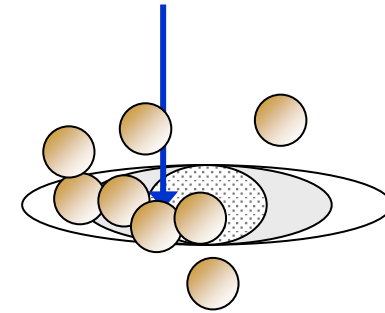
Cas n°3 : L'optimum est un **Maximum**

Pour un point Y la fonction Perte vaut : $L(Y) = K / Y^2$

Pour un échantillon d'écart type σ centré sur \bar{Y} la fonction Perte vaut : $L(Y) = \frac{K}{\bar{Y}^2} \left[1 + 3 \frac{\sigma^2}{\bar{Y}^2} \right]$



Signal = réponse moyenne



Bruit = dispersion

Cas n°1 : L'optimum est un **Nominal**

$$a) S/N_{(db)} = -10 \log (\sigma^2 + (Y - \bar{Y}_0)^2)$$

$$b) S/N_{(db)} = +10 \log (\bar{Y}^2 / \sigma^2)$$

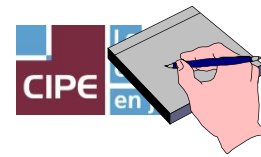
Cas n°2 : L'optimum est un **Minimum**

$$S/N_{(db)} = -10 \log (\sigma^2 + Y^2)$$

Cas n°3 : L'optimum est un **Maximum**

$$S/N_{(db)} = -10 \log \left[\frac{1}{\bar{Y}^2} \left(1 + 3 \frac{\sigma^2}{\bar{Y}^2} \right) \right]$$

Calcul du ratio Signal / bruit



	A	B	AB	D	AD	AC	C
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Effet des facteurs

réglage optimisé ↓

Résultats des expériences

Effet moyen

Niveau 1	moyenne
Niveau 2	
Niveau 1	Signal / bruit
Niveau 2	

Moyenne	Signal / bruit

$$S/N(\text{db}) = -10 \log \left[\frac{1}{Y^2} \left(1 + 3 \frac{\sigma^2}{Y^2} \right) \right]$$

Graphe des effets

Échelle des moyennes : cm / graduation

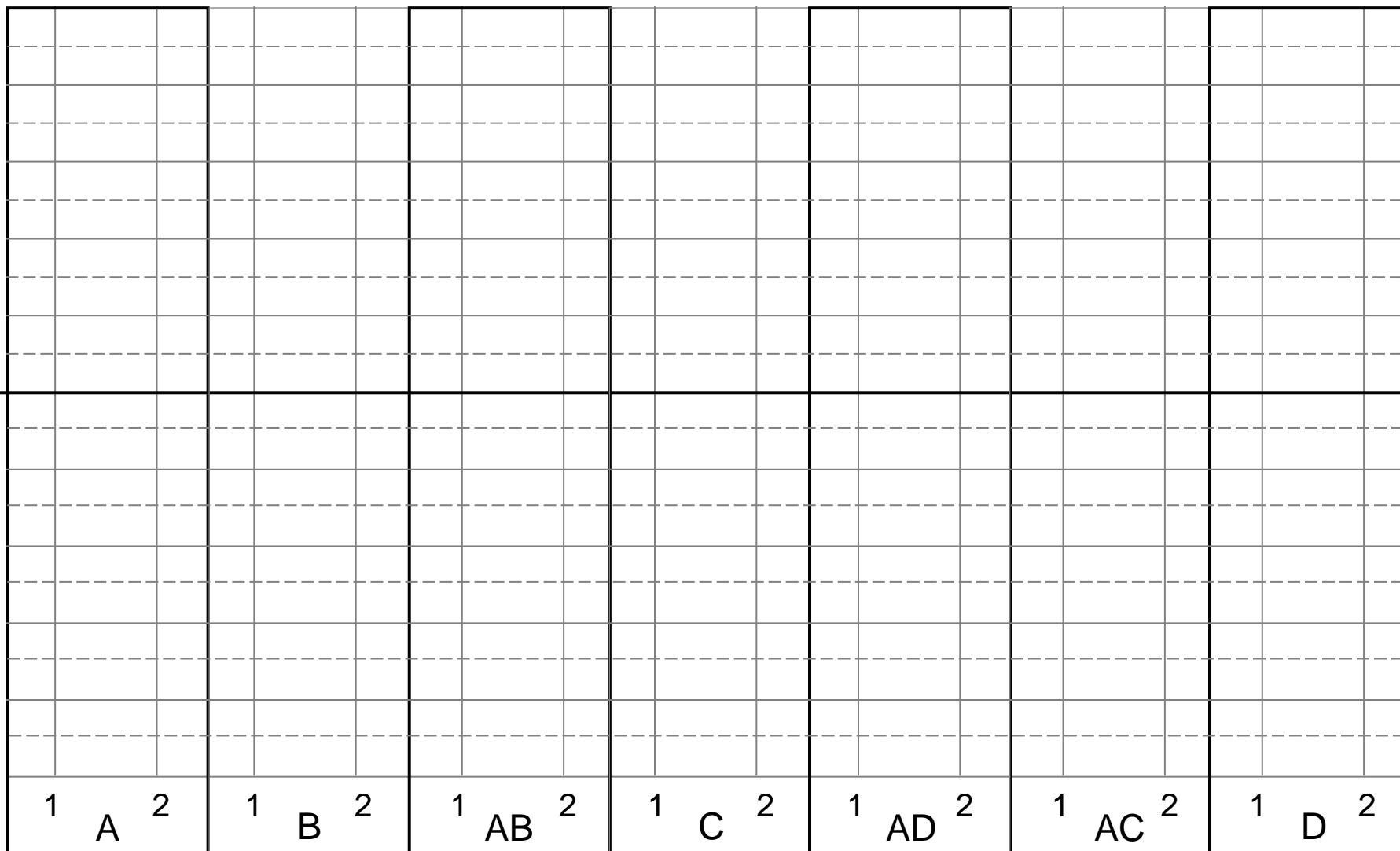
Échelle du signal / bruit: db / graduation

Effet moyen
Moyenne

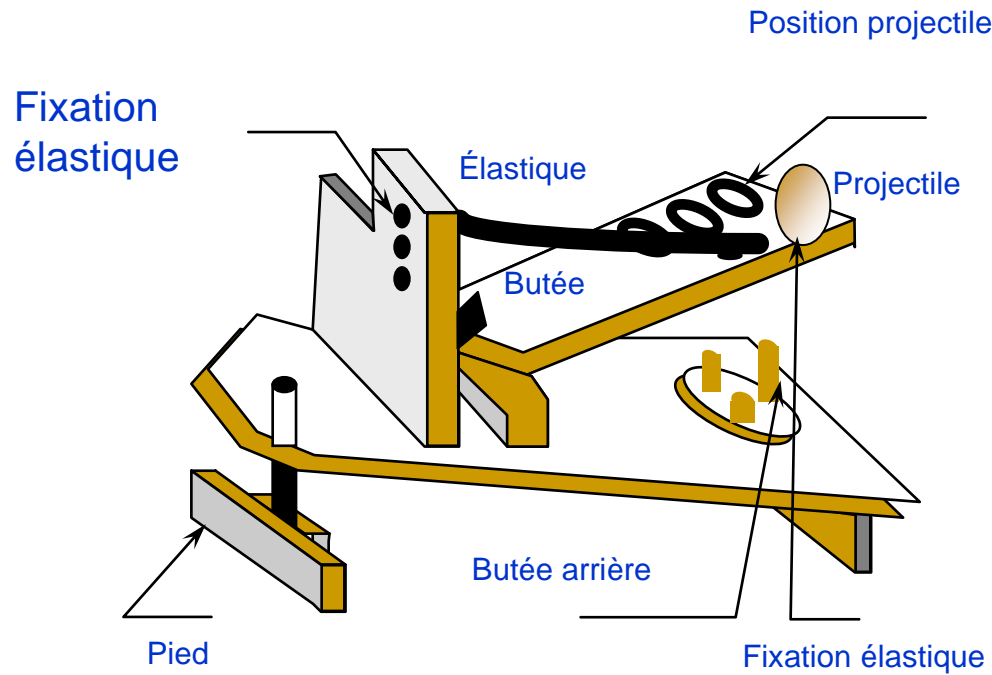
=

Effet moyen
Signal / bruit

=



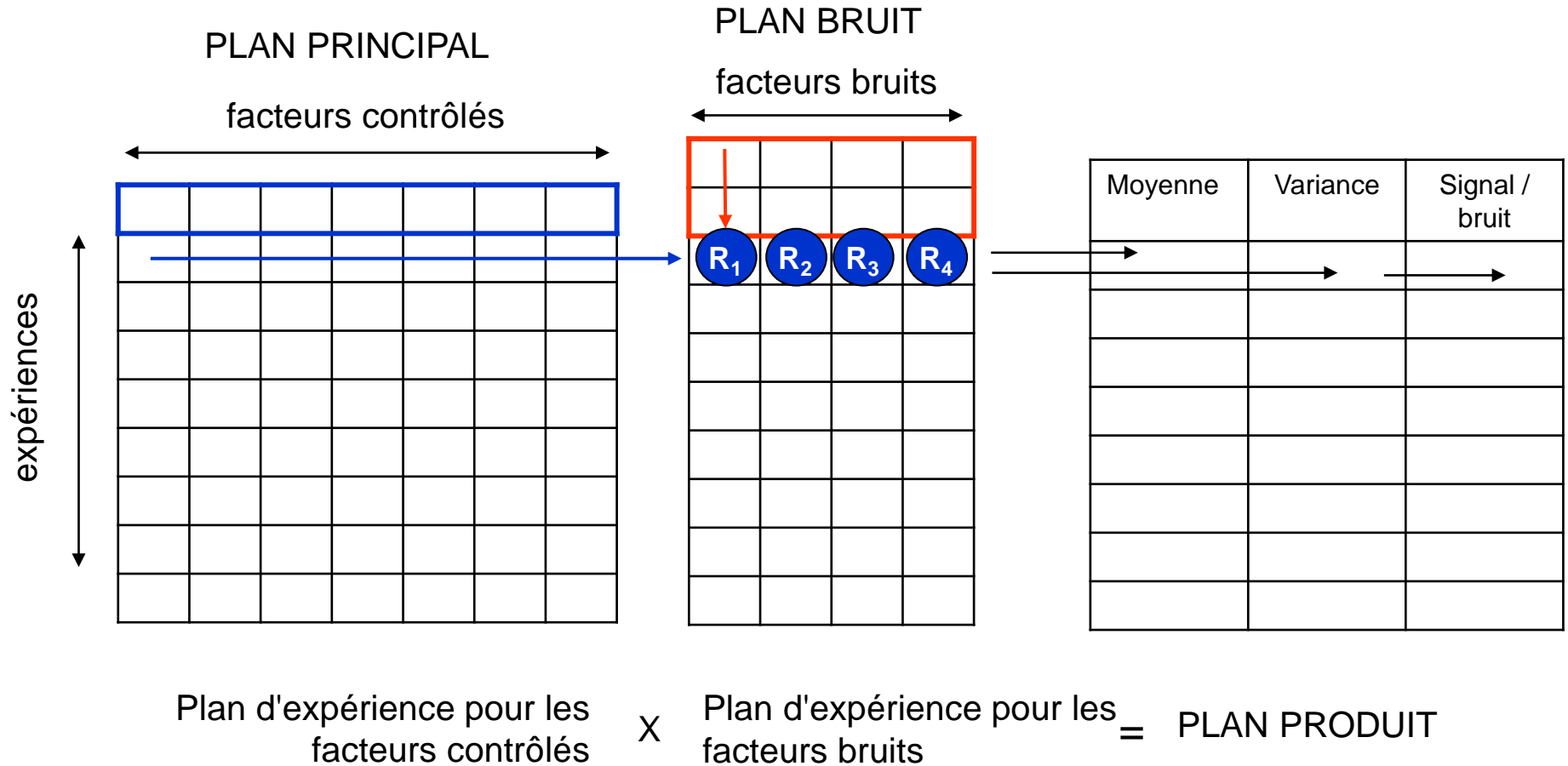
Facteurs contrôlés ?



Facteurs bruit



- Le projectile
- Le vieillissement de l'élastique
- La dureté de la butée
- La façon de procéder du tireur
- Le vent
- Le type de sol sur lequel repose la catapulte (= vibrations)



Diverses formules de mise en œuvre du jeu sont possibles : *n'hésitez pas à nous contacter*

Contact : **Nadia GHARBI**

Tél. : 01 40 64 59 18

Mail : info@cipe.fr

- **Acquisition** du jeu :
 - Matériel
 - Licence d'utilisation
 - Option de formation de mise en main (formation des futurs formateurs à l'utilisation du jeu)
 - Option de customisation du jeu à votre problématique
- Achat d'une **animation** du jeu :
 - Réalisée par un animateur du CIPE
 - Incluant le matériel mis en œuvre
 - Option de customisation de l'animation à votre problématique
- Le jeu peut être **customisé**, à divers niveaux :
 - Vocabulaire utilisé
 - Choix de chapitres spécifiques du jeu existant
 - Ajout de concepts / chapitres
 - Adaptation du jeu à un nombre de stagiaires important
 - Etc.