



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Gestion de Production GM2

J10 – Persona Ingénieur Méthodes & Industrialisation

Plan du cours – Mise à Jour 02.03.26 18h

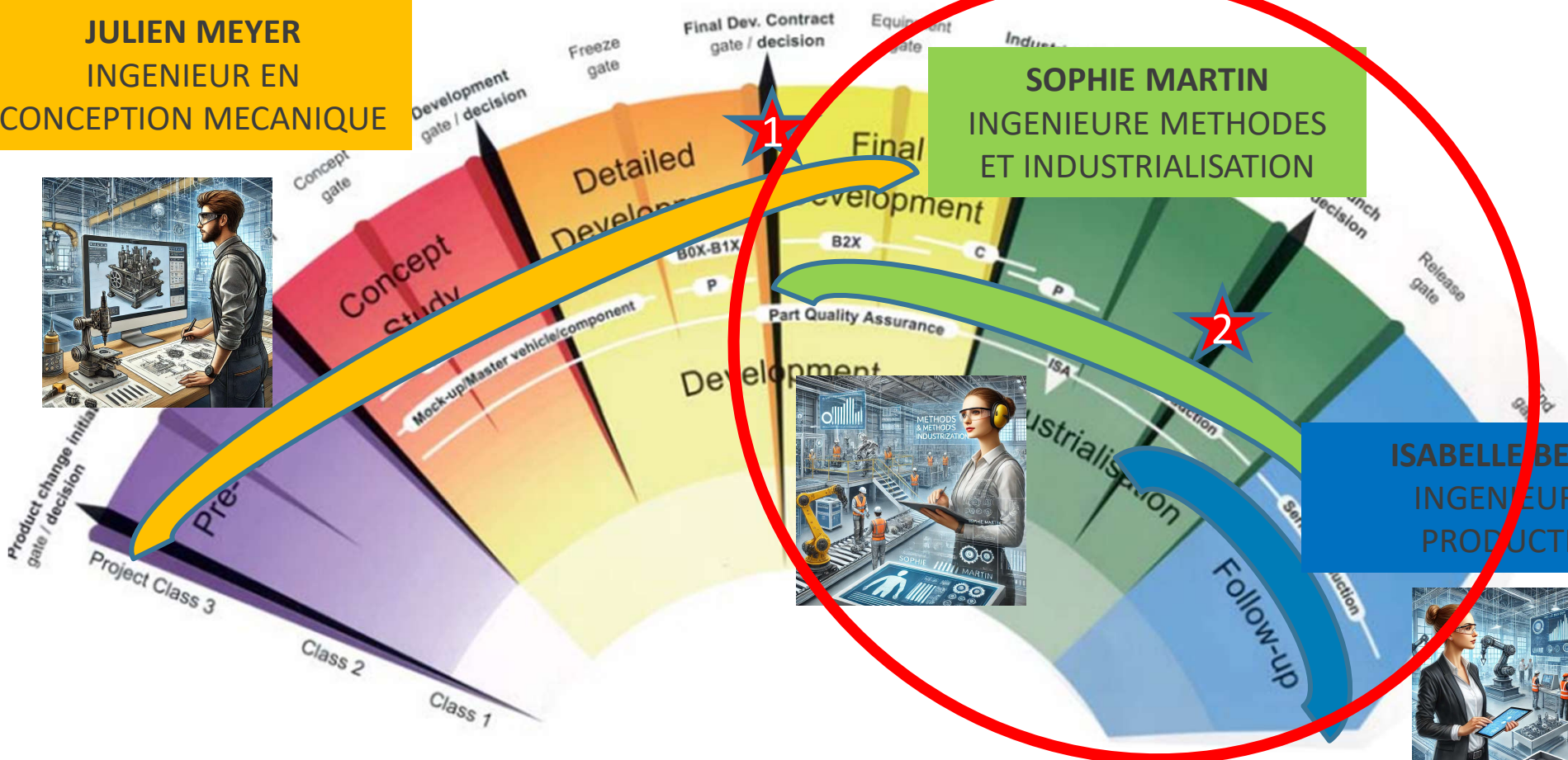
HEIA FR		GM2 : Gestion de production				
		0.9 ECTS/32 periodes --> (0.9 ECTS eq 27 heures)				
					COURS	
jours	semaine	semaine	Nbr per.	Contenu	Travail individuel	
16.02.2026	J1	P1	8	2	Introduction (inclus personnas metiers)	2 questionnaires (cyberlearn, attentes et connaissances initiales)
23.02.2026	J2	P2	9	2	Introduction (inclus personnas metiers)	
02.03.2026	J3	P3	10	2	Processus produit & exigences/attentes des metiers. Introduction à la gestion de production - Typologie en fonction des volumes à produire- Notion de Supply Chain - ERP-PLM	
09.03.2026	J4	P4	11	2	J3 suite et Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur en conception mecanique - Partie 1	
16.03.2026	J5	P5	12	2	Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur en conception mecanique - Partie 2	
23.03.2026	J6	P6	13	2	Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur en conception mecanique - Partie 3	
30.03.2026	J7	P7	14	2	Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur en conception mecanique - Partie 4	
06.04.2026	Lundi de Pâques - férié					
13.04.2026	J8	P8	15	2	Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur methodes/industrialisation - Partie 1	Examen N°1 (30mn)
20.04.2026	J9	P9	16	2	Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur methodes/industrialisation - Partie 2	
27.04.2026	J10	P10	17		Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur de production- Partie 1	
04.05.2026	J11	P11	18	2	Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur de production- Partie 2	
11.05.2026	J12	P12	19	2	Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur de production- Partie 3	Examen N°2 (30mn)
18.05.2026	J13	P13	20	2	Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur Qualité (conception et production)- Partie 1	
25.05.2026	Lundi de Pentecotes - férié					
01.06.2026	J15	P15	21	2	Livrables et Outils "Industriels" à destination de l'ingenieur Qualité (conception et production)- Partie 2	
08.06.2026	J16	P16	22	2	Intervenant industriel : les systèmes IT en production	
15.06.2026	J17	P17	23	2	EXAMEN FINAL	EXAMEN FINAL 1h30
22.06.2026	J18	P18	24		pas cours	
		total		30	Objectif 32 -> equivalent 2 periodes de travail en dehors des cours	
		Total en heures		22.5		

Note Cours = moyenne (TE1, TE2, TEFinal)

...retours sur les PERSONAS

RAPPEL

JULIEN MEYER
INGENIEUR EN
CONCEPTION MECANIQUE



SOPHIE MARTIN
INGENIEURE METHODES
ET INDUSTRIALISATION

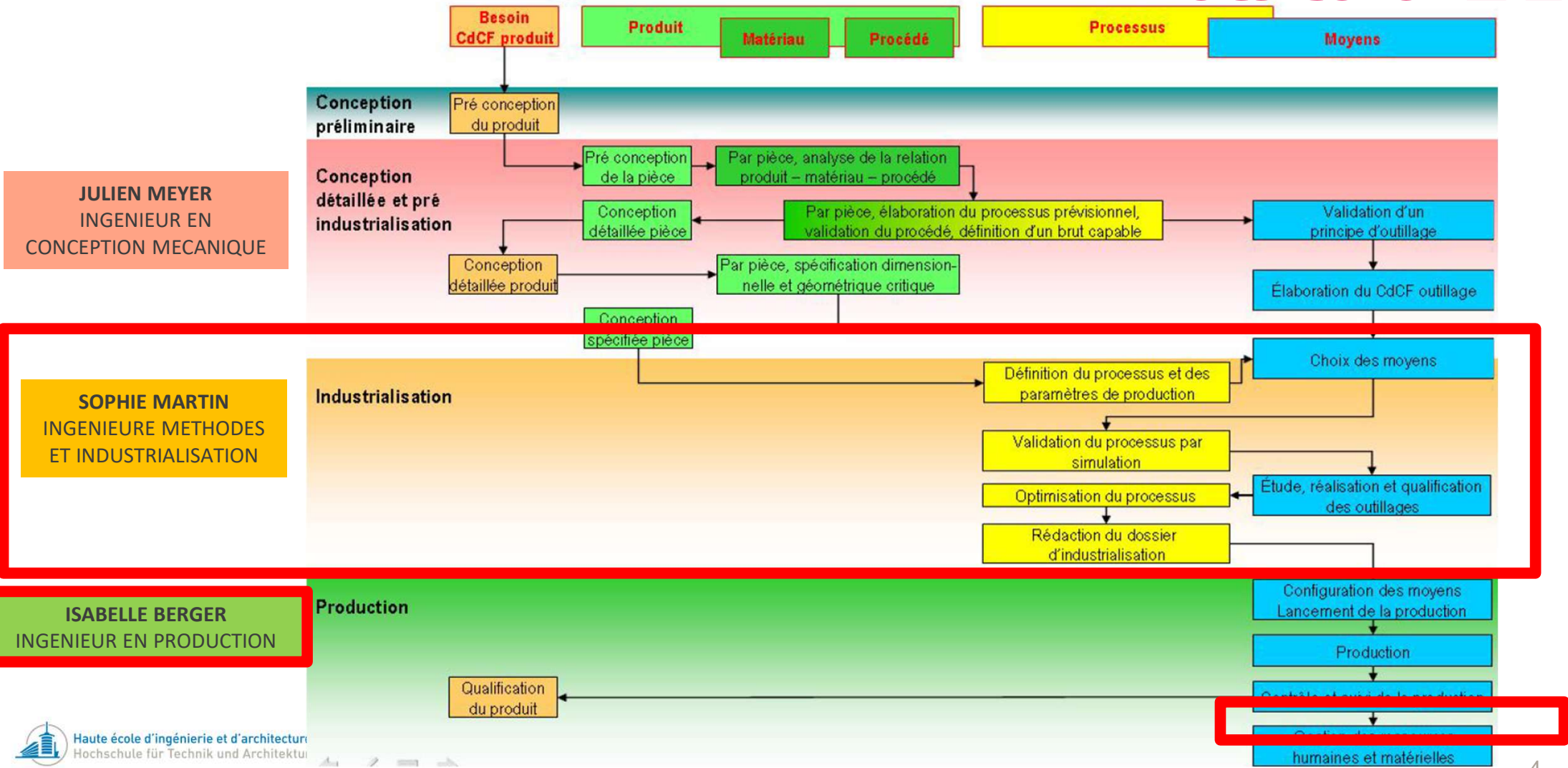


ISABELLE BERGER
INGENIEUR EN
PRODUCTION



Exemple de Processus...qui fait quoi ?

RAPPEL



JULIEN MEYER
INGENIEUR EN
CONCEPTION MECANIQUE

SOPHIE MARTIN
INGENIEURE METHODES
ET INDUSTRIALISATION

ISABELLE BERGER
INGENIEUR EN PRODUCTION

RAPPEL

A FAIRE pour le prochain cours du 27.04.26 :

Finissez de travaillé sur l'exercice du J9 en groupe
1 groupe viendra présentez ces résultats & corrigé de l'exercice en parallèle par le Prof.

A la fin du J10, mise à disposition de la correction

Exemple de livrables d'un ingénieur méthodes et Industrialisation

RAPPEL

Industrialisation & préparation de production

Gammes opératoires

Nomenclature, Séquence des opérations par produit/poste (=gammes)

Plan de charge des ateliers

Organisation du travail, cadencement, capacité

Dossier d'industrialisation complet

Instructions de fabrication et d'assemblage

Schémas de flux, implantation poste/machine

Dossiers d'outillage

Cahiers des charges, plans, spécifications

Instructions de contrôle

Modes opératoires de contrôle, critères d'acceptation (maîtrise Statistique des procédés)

Fiches de poste

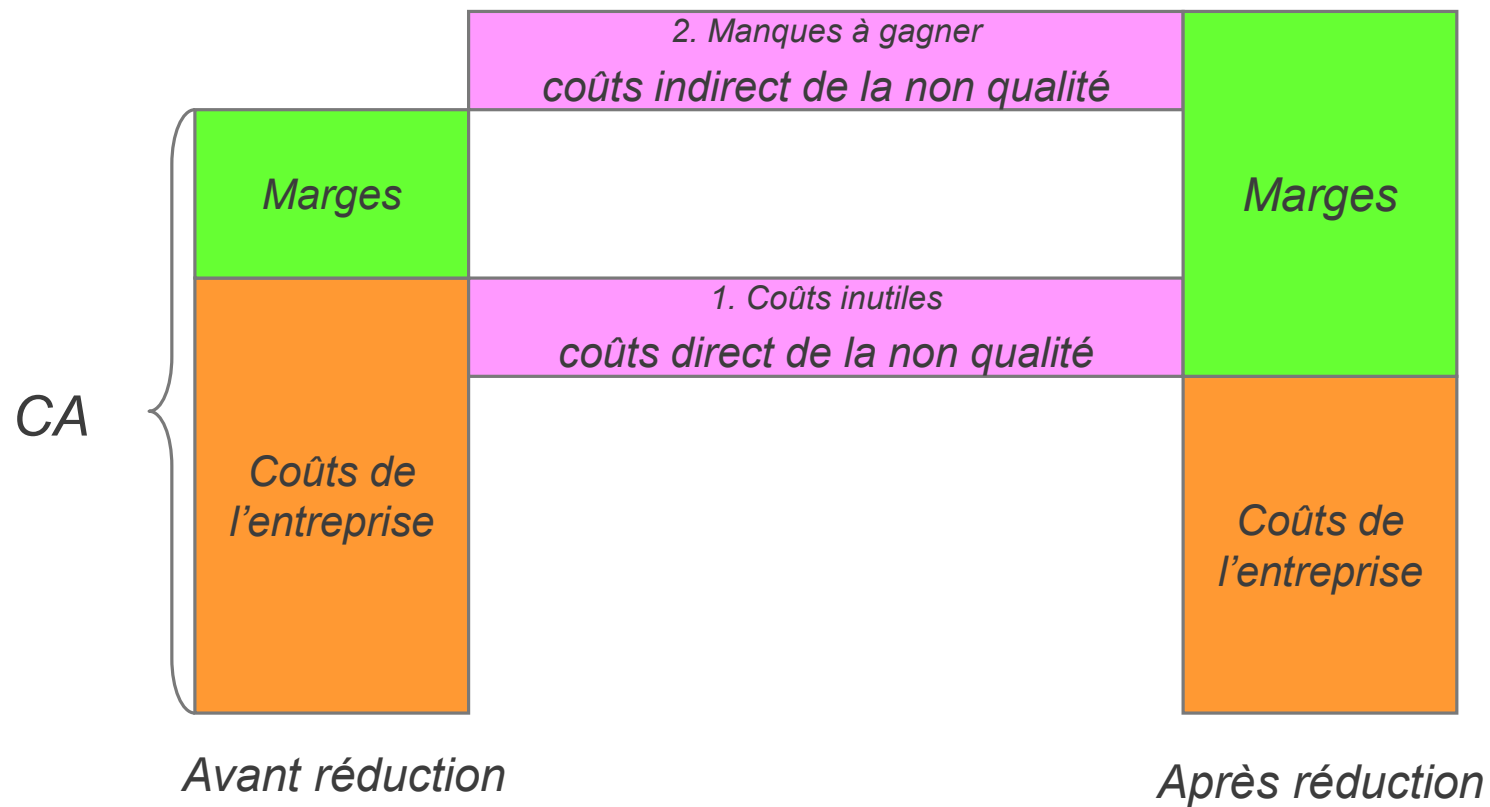
Description des tâches, compétences requises

Sera vu en GM2

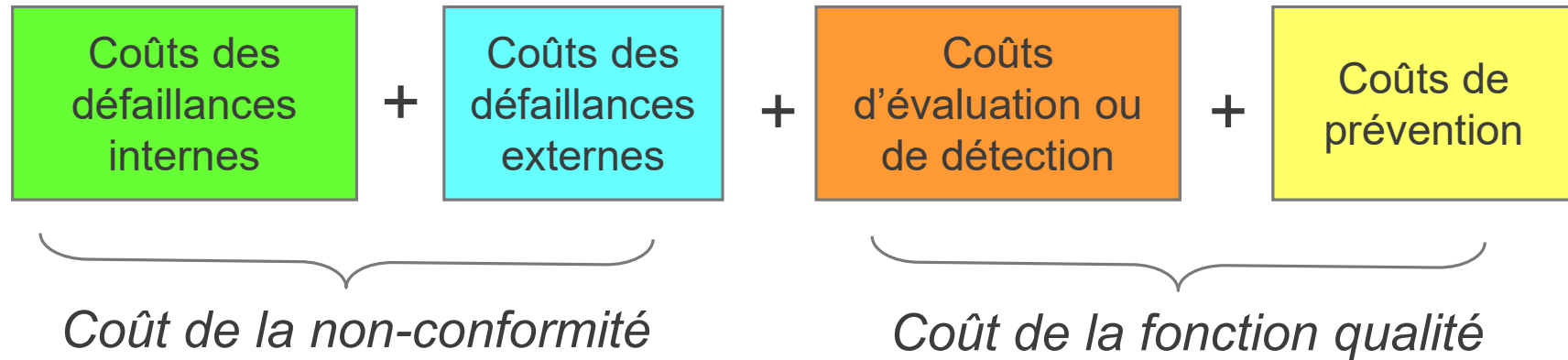
Objectifs du cours

- Mettre en œuvre une méthode de maîtrise des procédés de fabrication >> MSP - SPC (*Statistic Process Control*)
- Réviser et utiliser les notions de base de statistiques appliquées à la maîtrise des procédés de fabrication
- Découvrir et comprendre l'utilisation et la mise en œuvre des Capabilités process et procédés

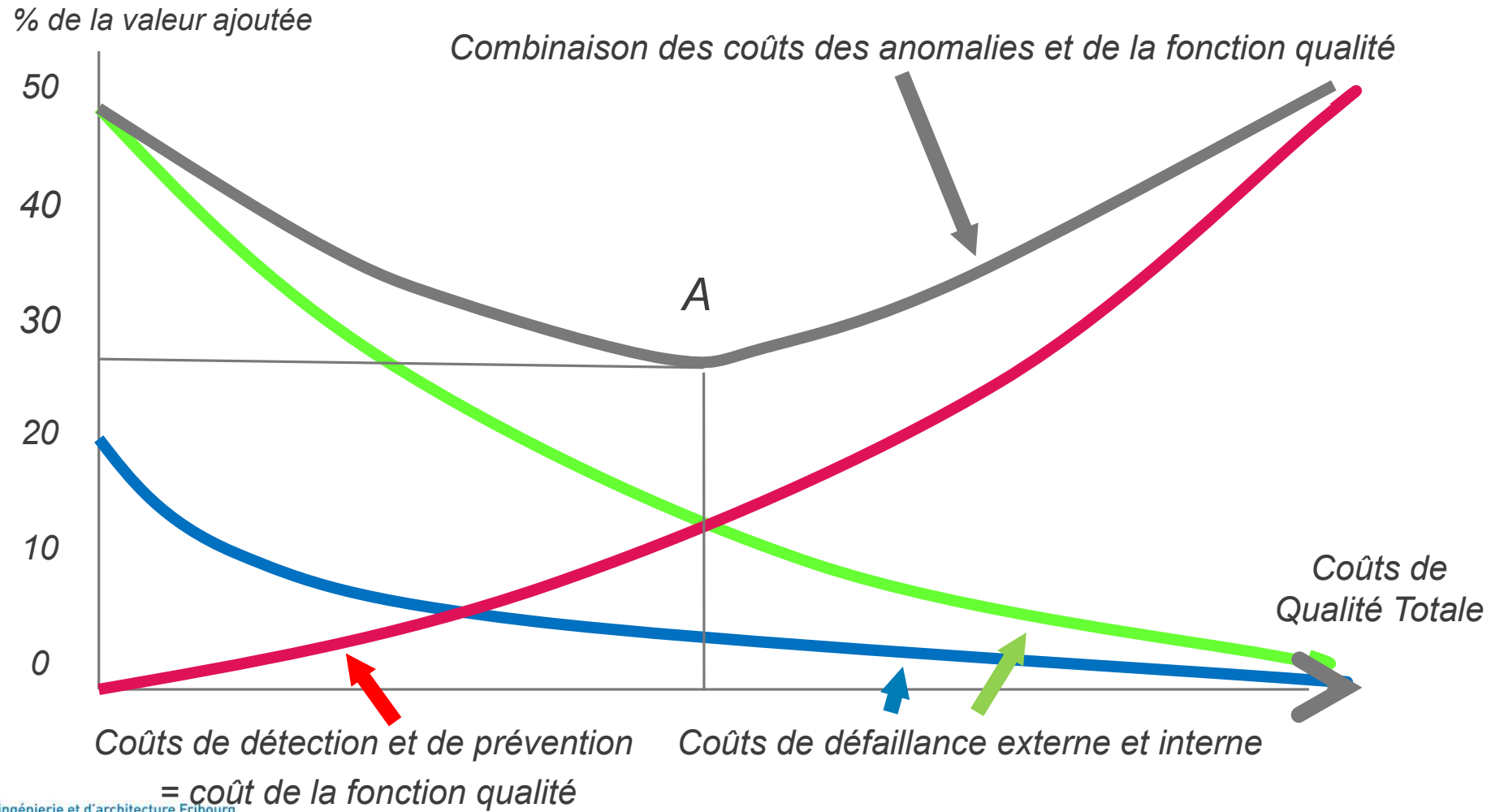
Les coûts selon NF X 50-126 « Guide d'évaluation des coûts de la non qualité »



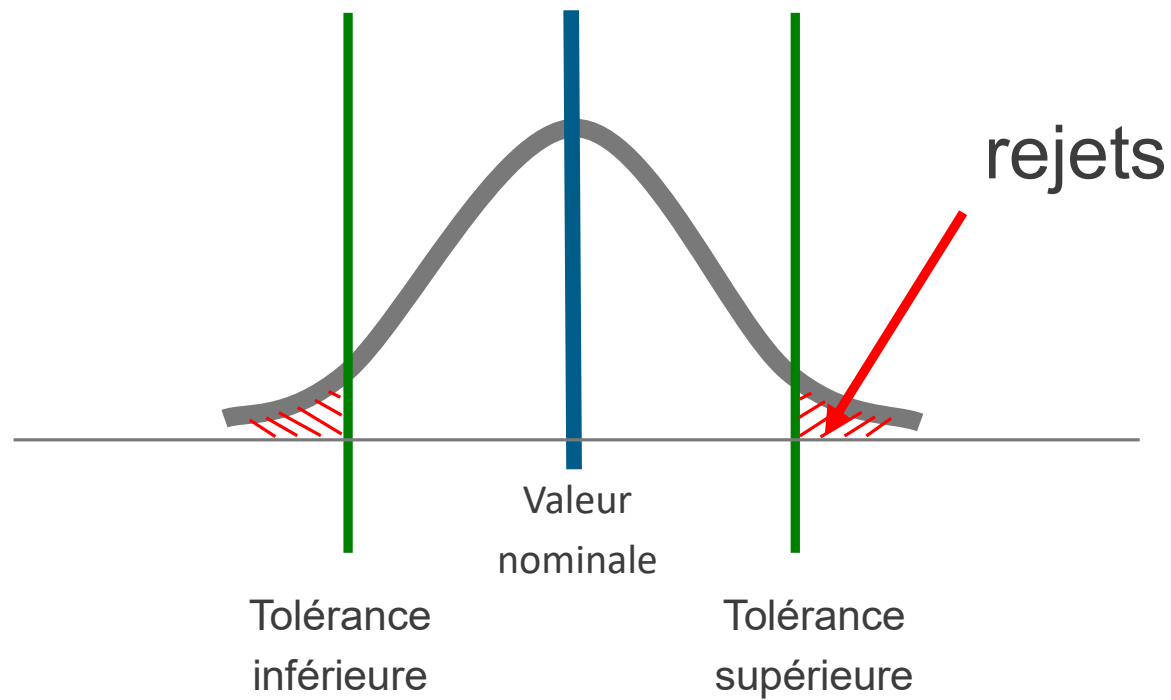
Les coûts résultant de la non-qualité



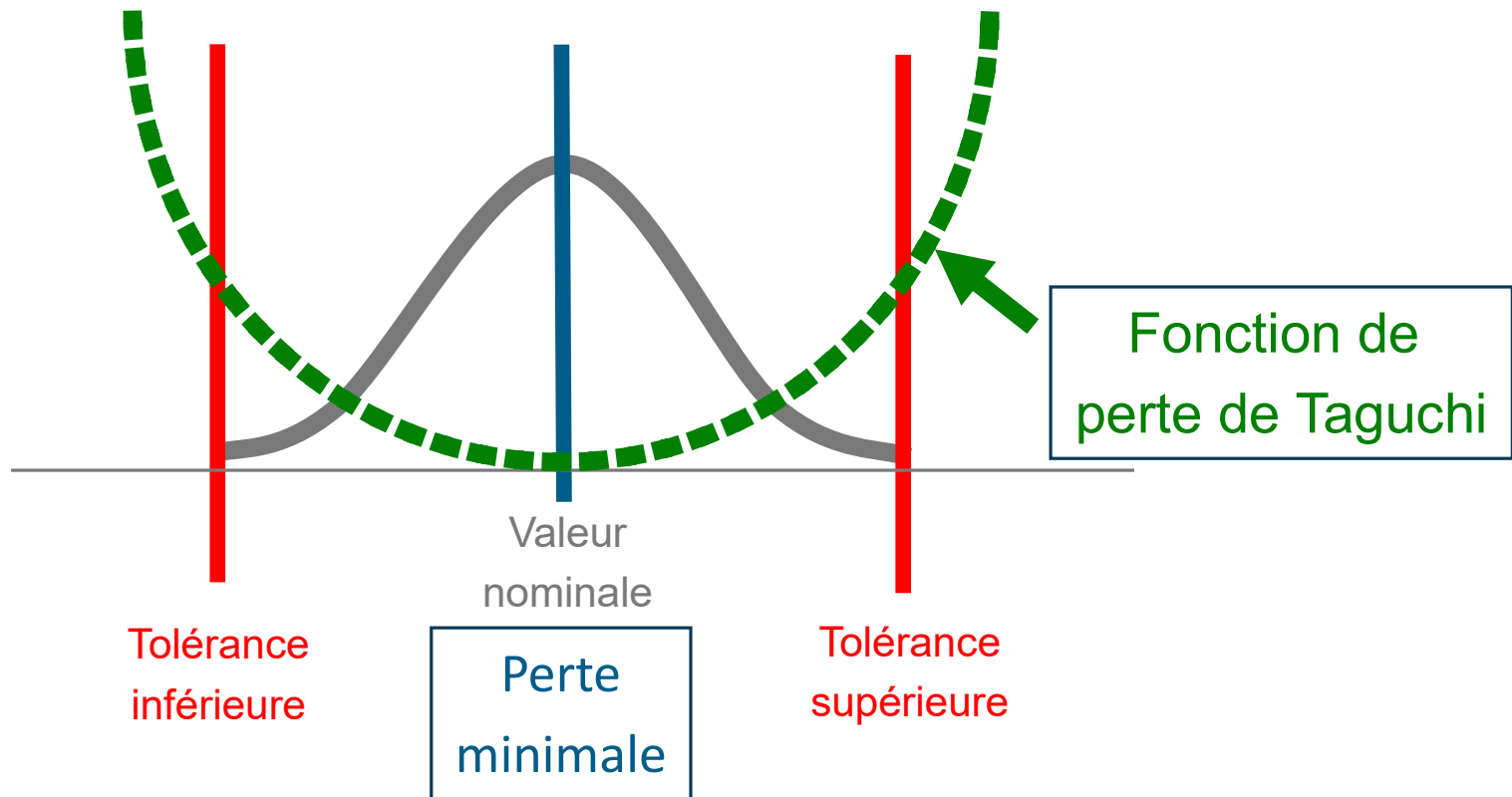
De la recherche du scénario optimal



Des produits non conformes mais aussi...



Une traduction financière sans appel...



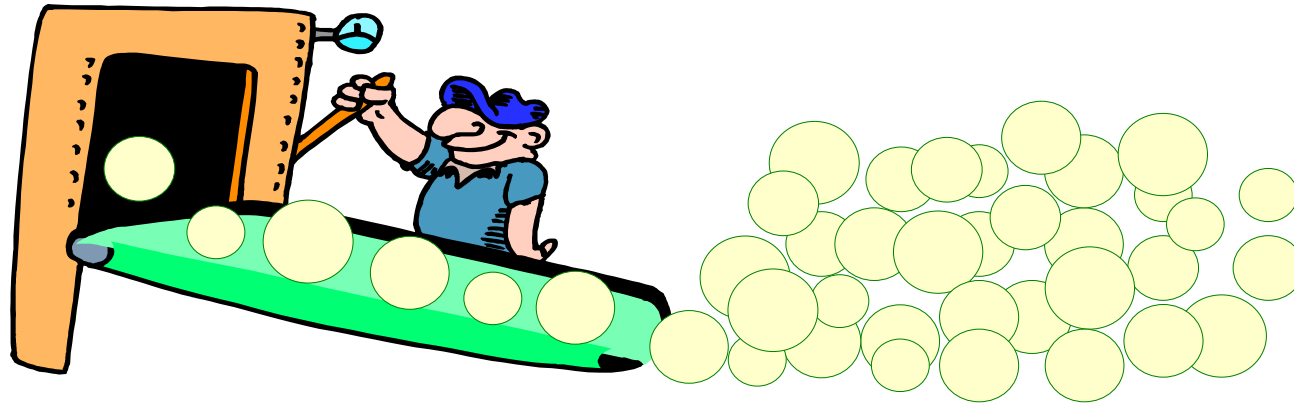
Les Axiomes de la MSP

- Tous les processus ont de la variabilité,
- Toutes les variabilités ont des causes,
- Généralement les causes sont peu nombreuses,
(20% cause = 80% des effets)
- Si on connaît ces causes on devrait pouvoir les contrôler,
- Les conceptions doivent viser des processus robustes aux variations restantes,
- Cela est vrai pour les processus, les produits, les services...

La Variabilité est donc l'ennemi à combattre !

introduction : la Variabilité d'un procédé

- Tout procédé de fabrication dérive ...
... et crée de la variabilité dans les produits fabriqués



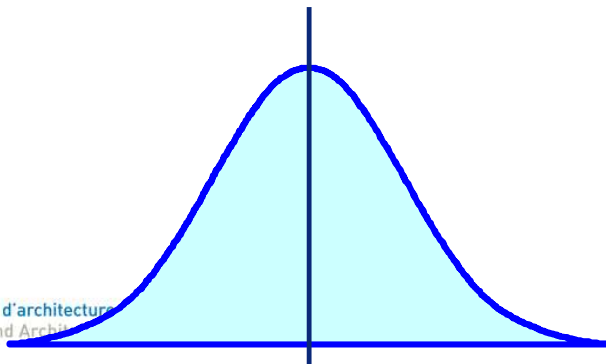
maîtriser un processus = maîtriser sa variabilité
(c'est-à-dire la variabilité de ses productions)



les Causes de dérive d'un procédé

causes COMMUNES
ou assignables

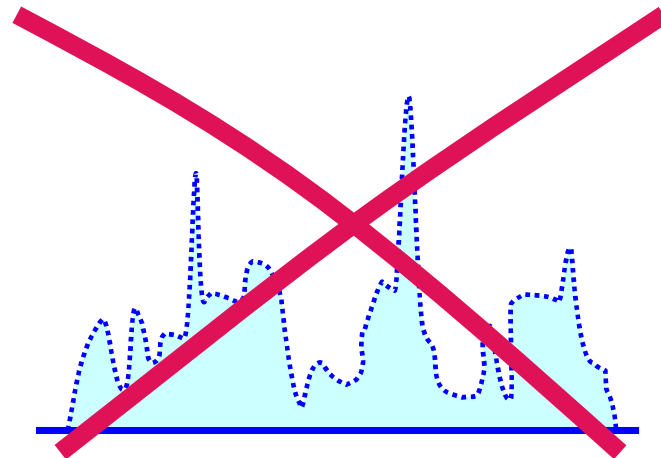
- nombreuses sources de variation
- toujours présentes
- en grand nombre
- il faut "vivre avec"
- donnent la variabilité intrinsèque du procédé



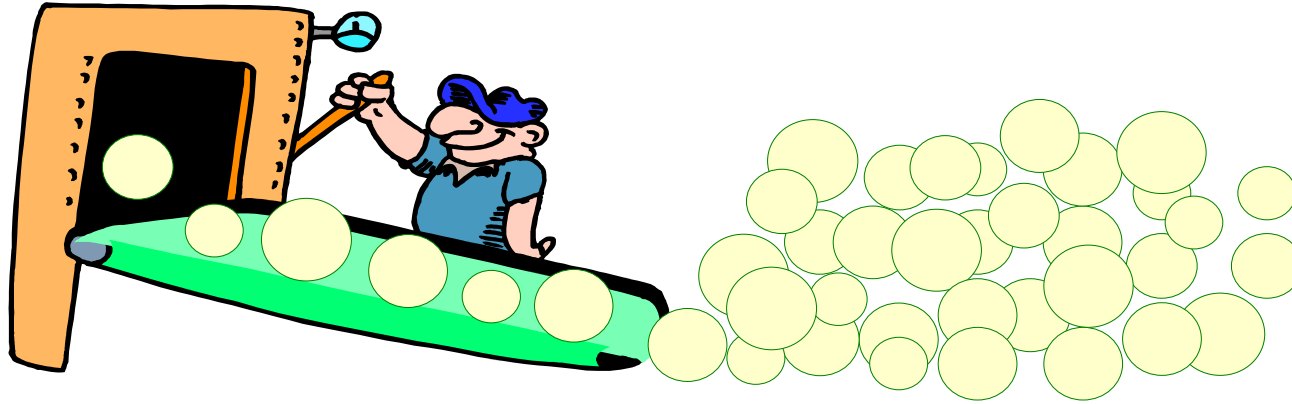
causes SPECIALES
ou aléatoires

- sources de variation identifiables
- peuvent être éliminées
- exemple : usure ou mesure d'outil

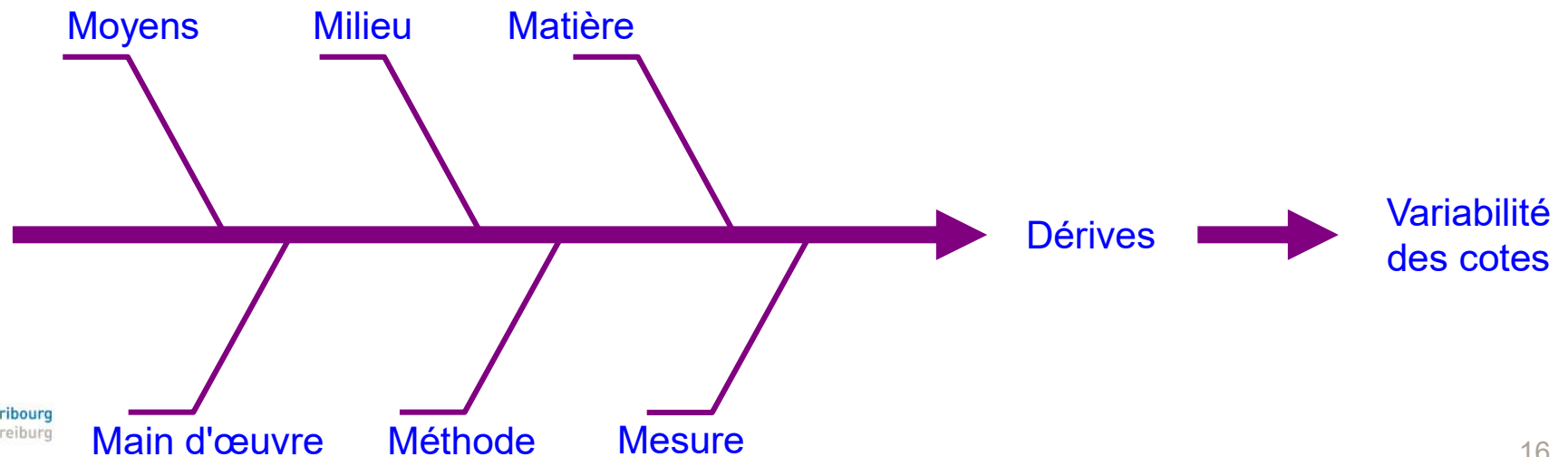
éliminer les
causes Spéciales



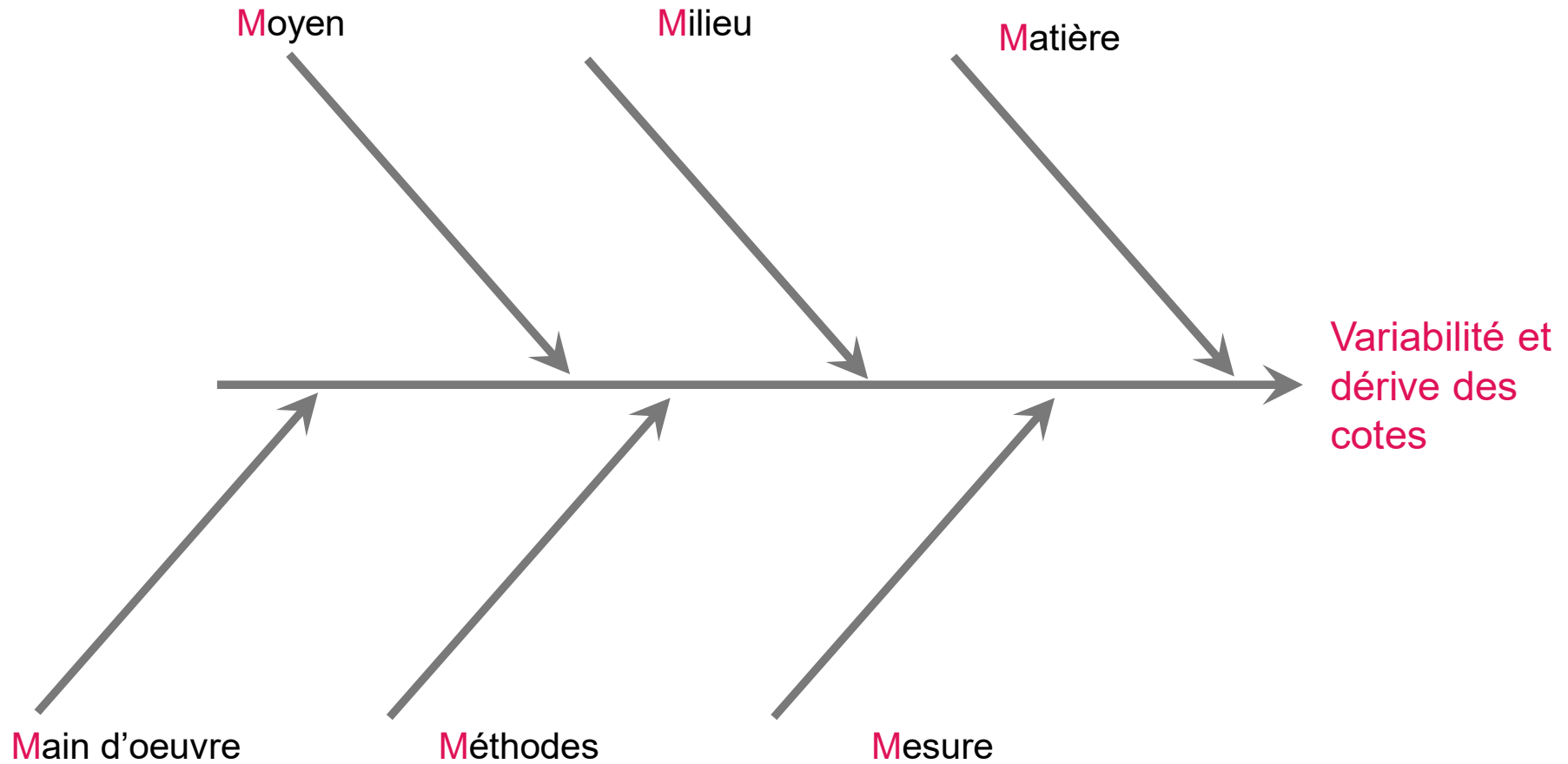
les Causes de dérive d'un procédé



- Les causes de dérives sont variées :

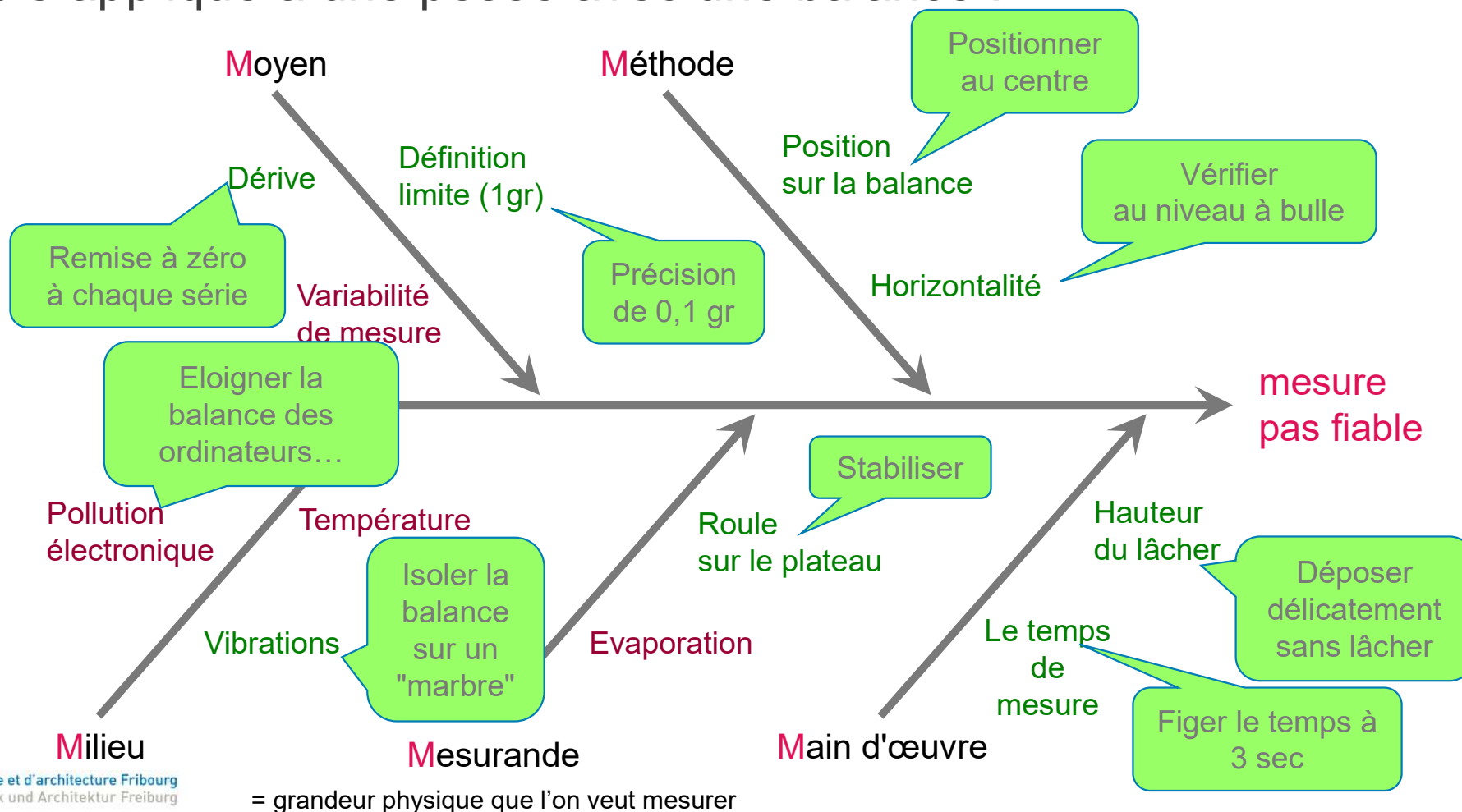


Analyse des causes de variabilité du process à l'aide du 6M

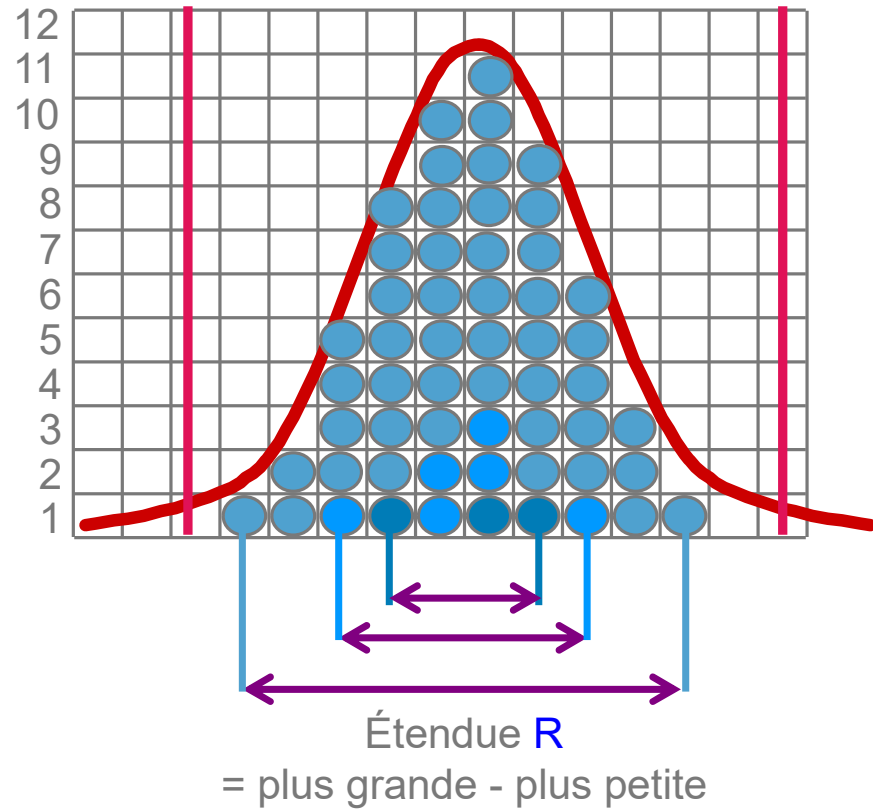


Analyse des causes de variabilité du process à l'aide du 6M

- Exemple appliqué à une pesée avec une balance :



Comment caractériser une production ?



- 3 Valeurs
- 9 Valeurs
- 56 Valeurs

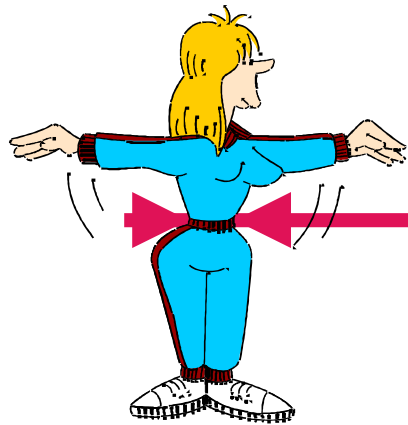
Plus on prend de valeurs,
plus l'étendue augmente !

On doit caractériser la dispersion
par un **critère statistique** !



Comment caractériser une production ?

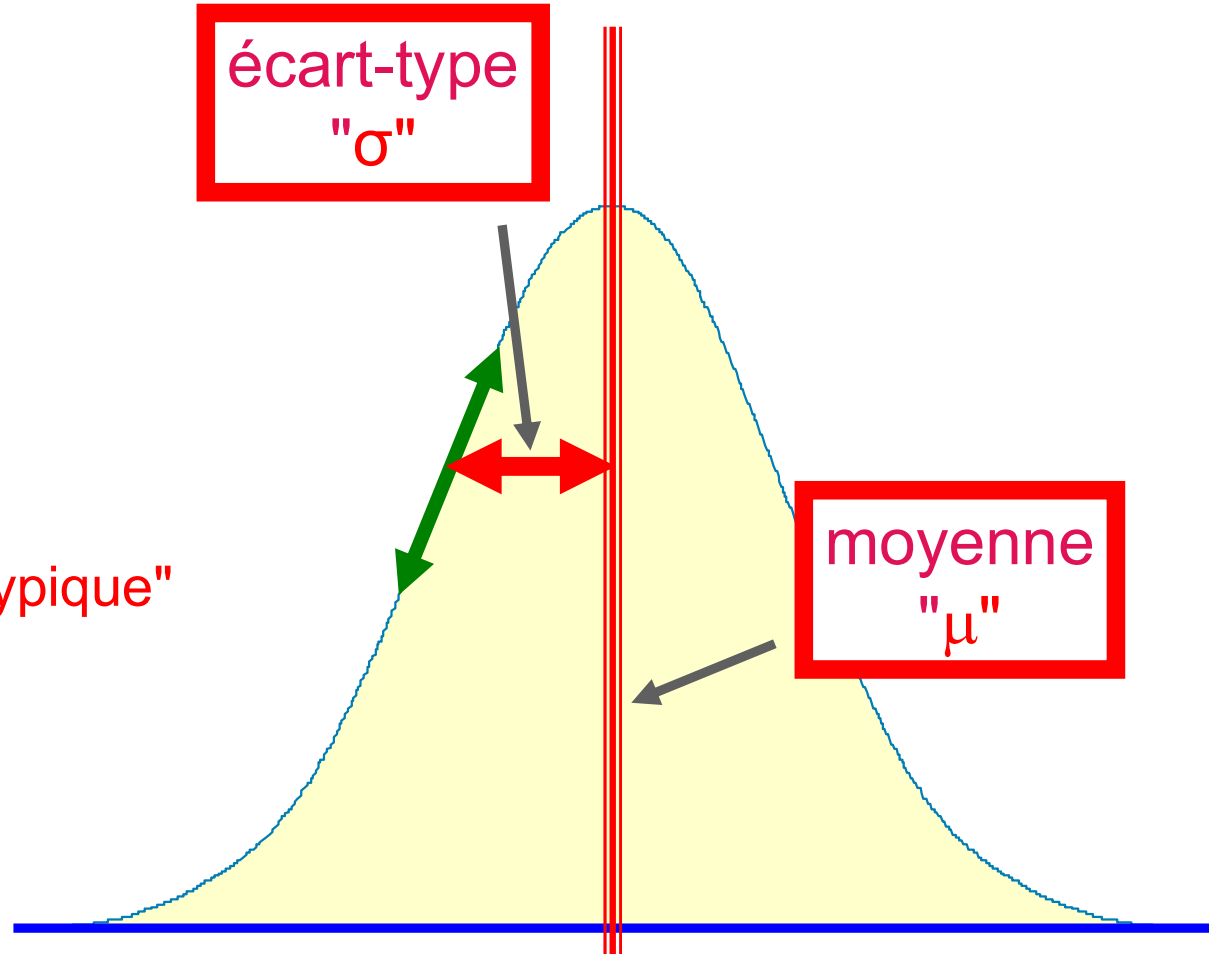
l'écart-type c'est
le tour de taille
de la courbe en cloche



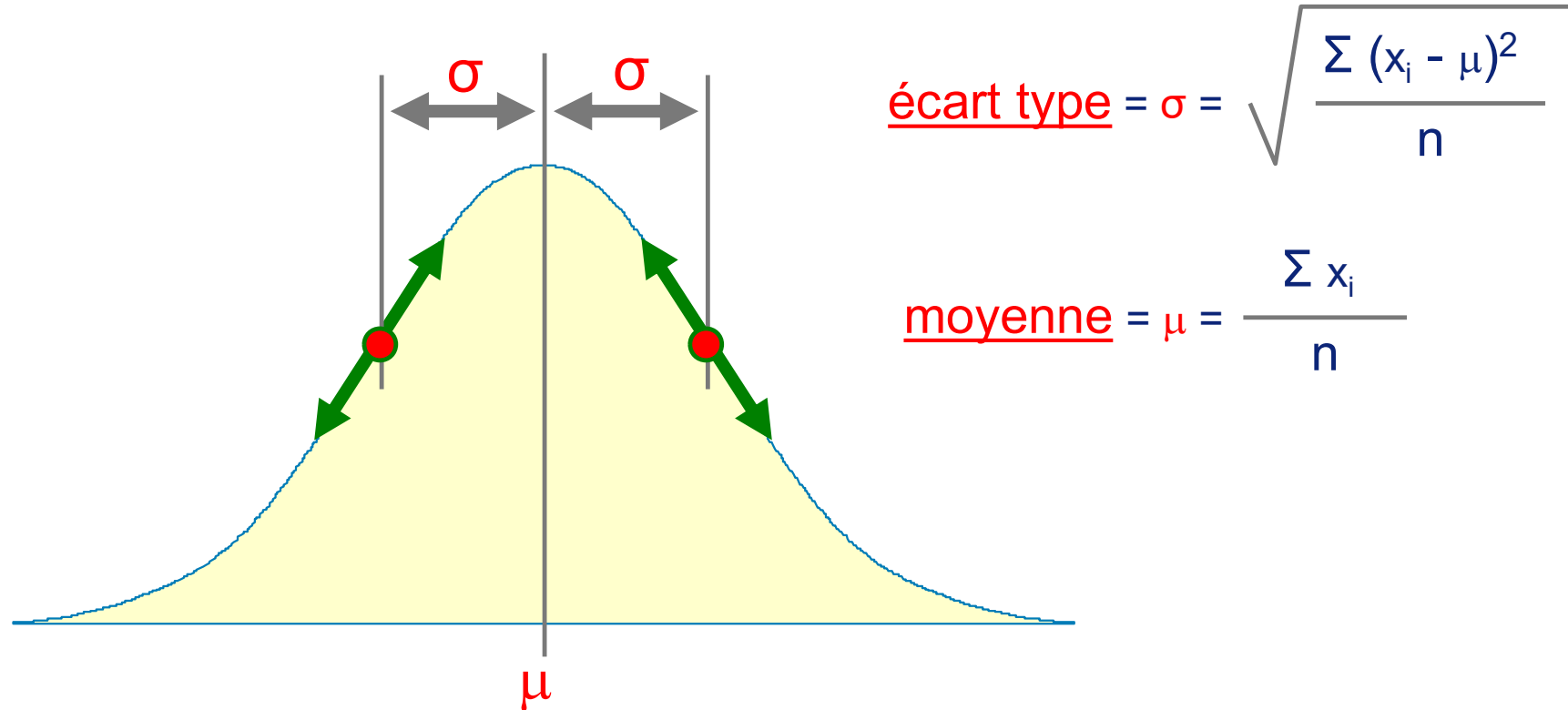
"écart-typique"

écart-type
" σ "

moyenne
" μ "



Comment caractériser une production ?



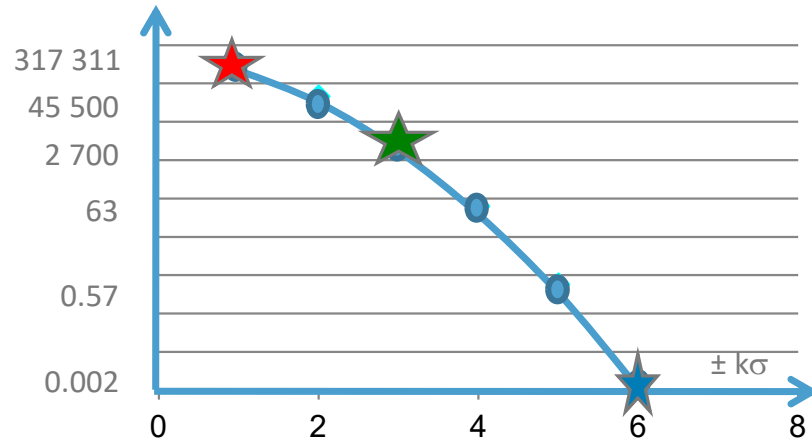
$$\text{écart type} = \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n}}$$

$$\text{moyenne} = \mu = \frac{\sum x_i}{n}$$

ATTENTION : la relation entre le point d'inflexion et l'écart type suppose que ce soit une Loi Normale !!
(donc absence de causes spéciales)

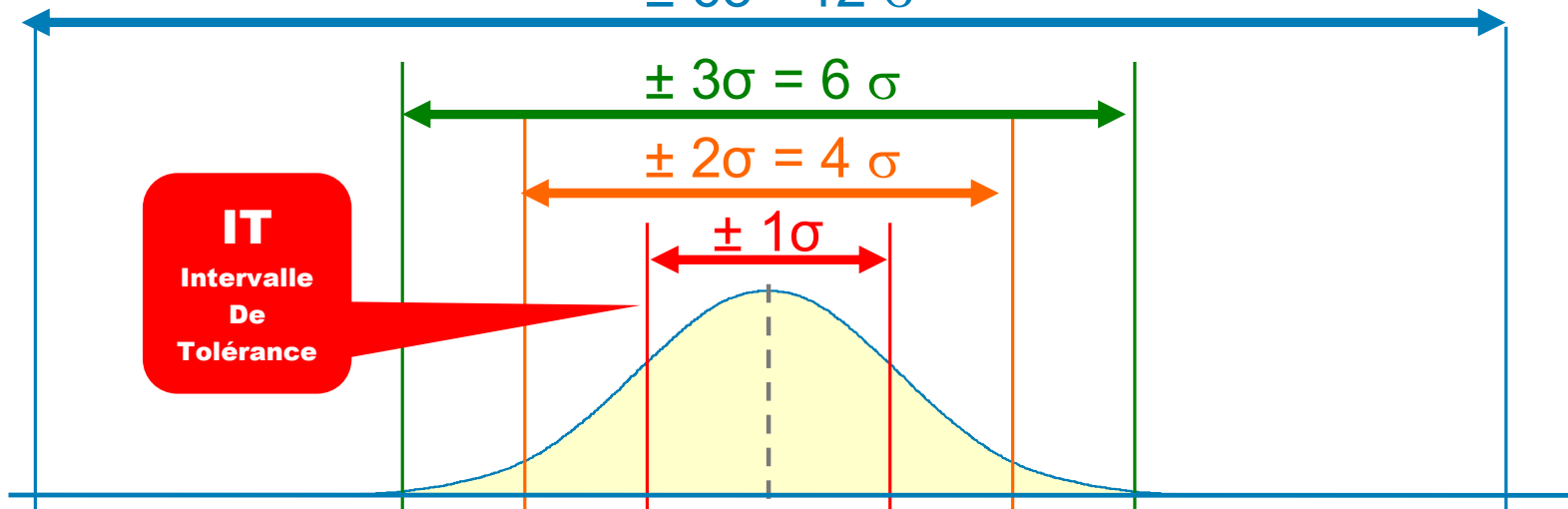
6σ et Réduction de variabilité

Hors zone par million



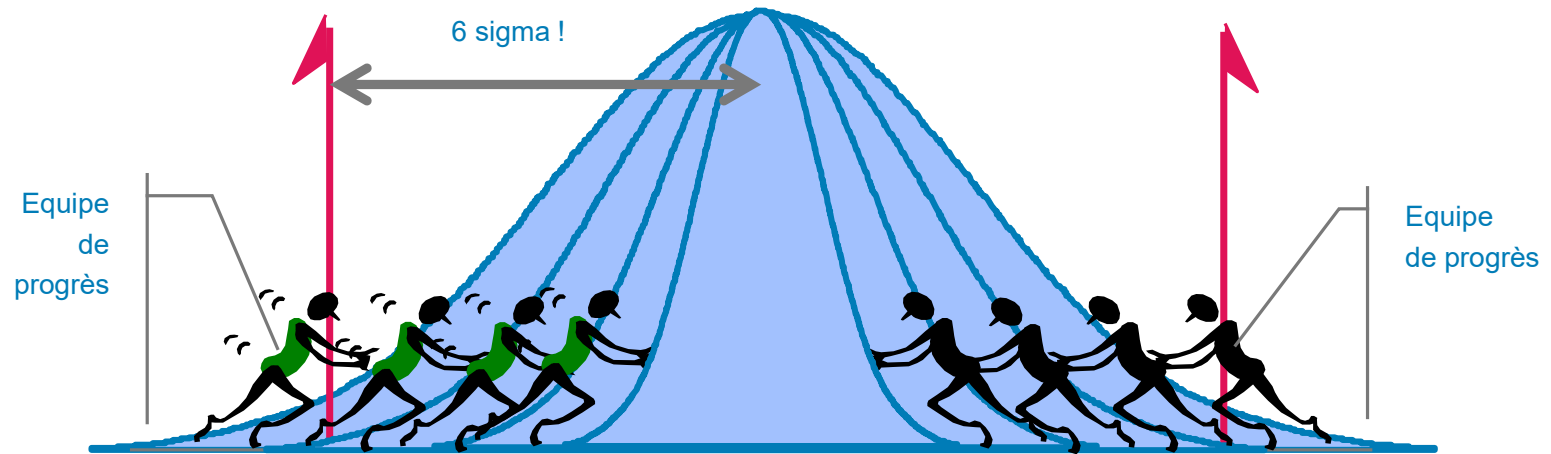
$\pm\sigma$	% Bons	Défauts Ppm
1	68,27	317311
2	95,45	45500
3	99,73	2700
4	99,9937	63
5	99,999943	0.57
6	99.9999998	0.002

$\pm 6\sigma = 12 \sigma$

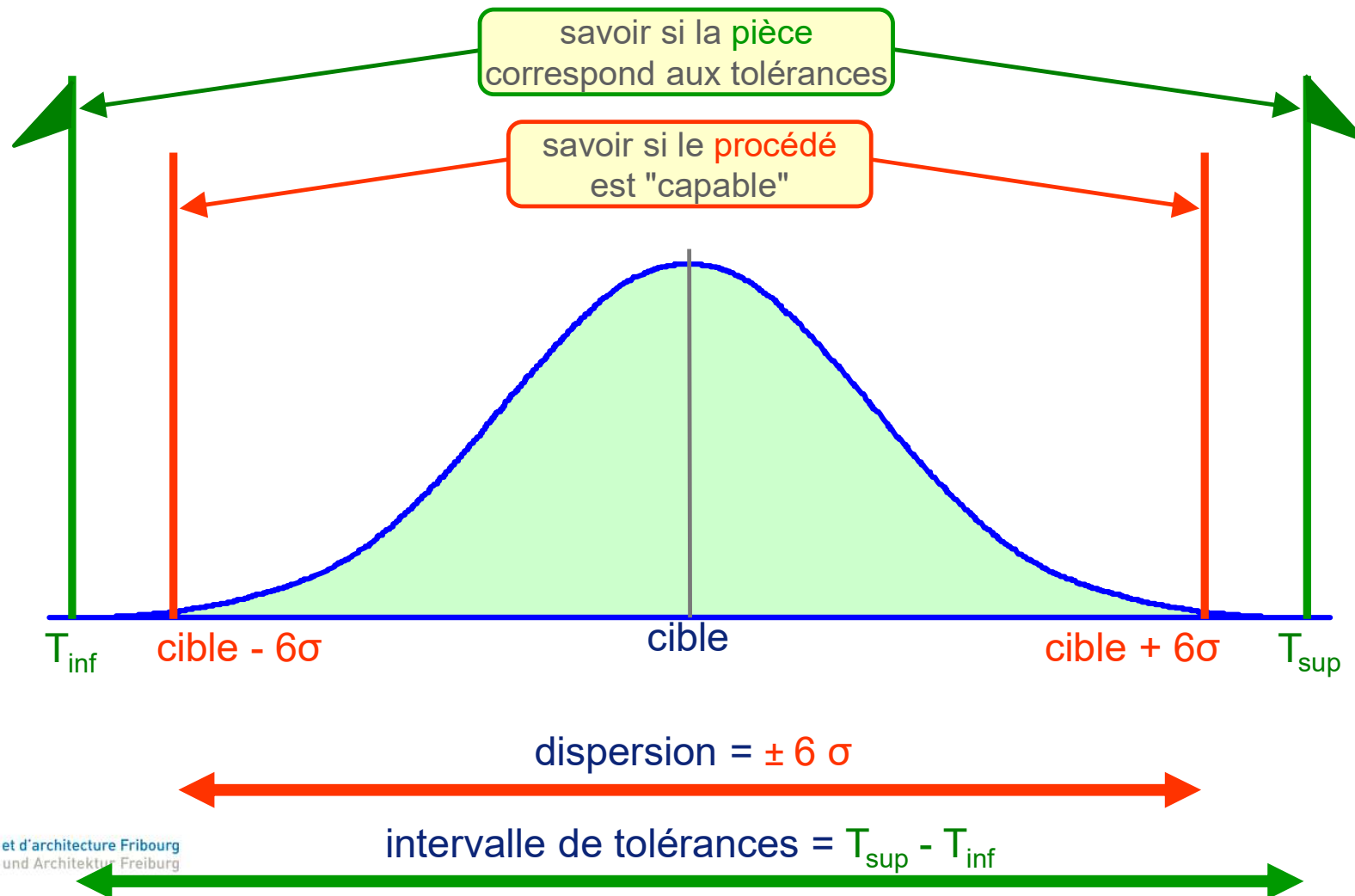


6 σ et Réduction de variabilité

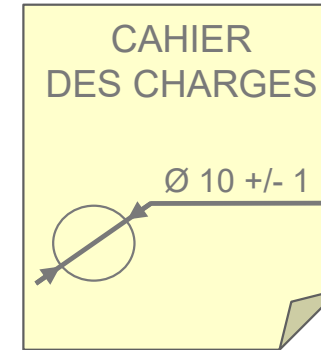
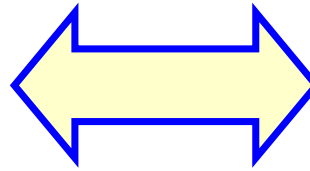
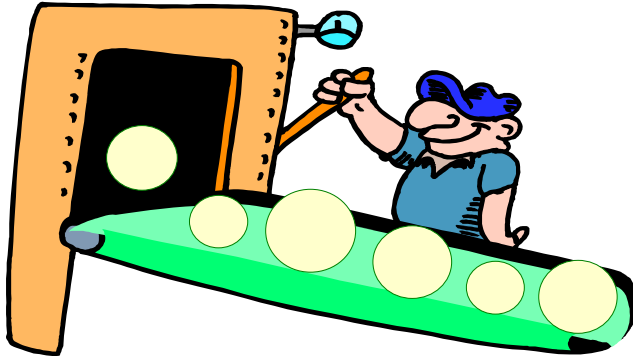
Après
Avant



6σ et Réduction de variabilité



la notion de Capabilité



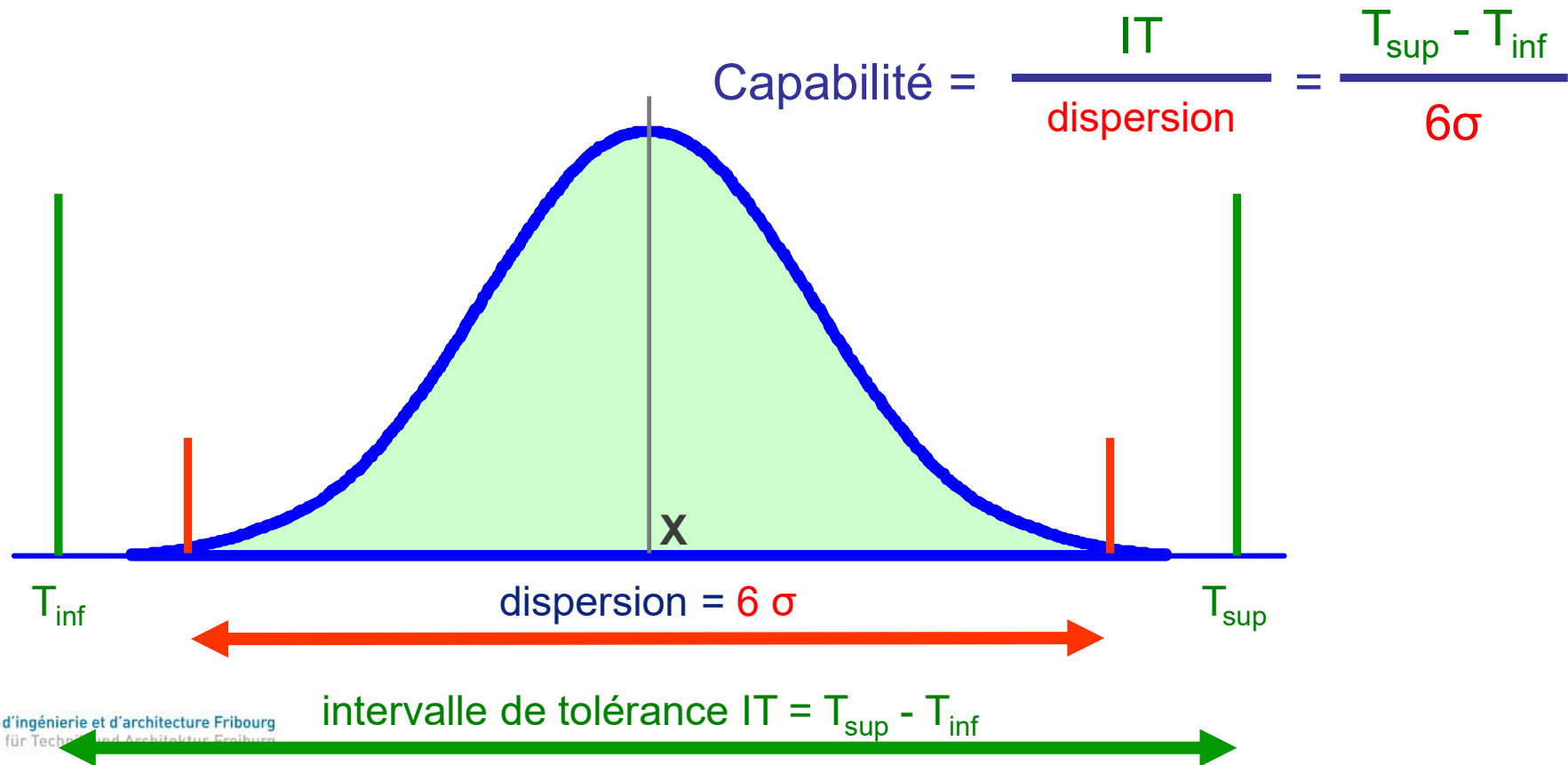
- On veut savoir si le procédé est capable de réaliser des pièces dans l'intervalle de tolérance fixé par le cahier des charges
- La **CAPABILITE** est un rapport :

l'intervalle de tolérance (ce veut le client)

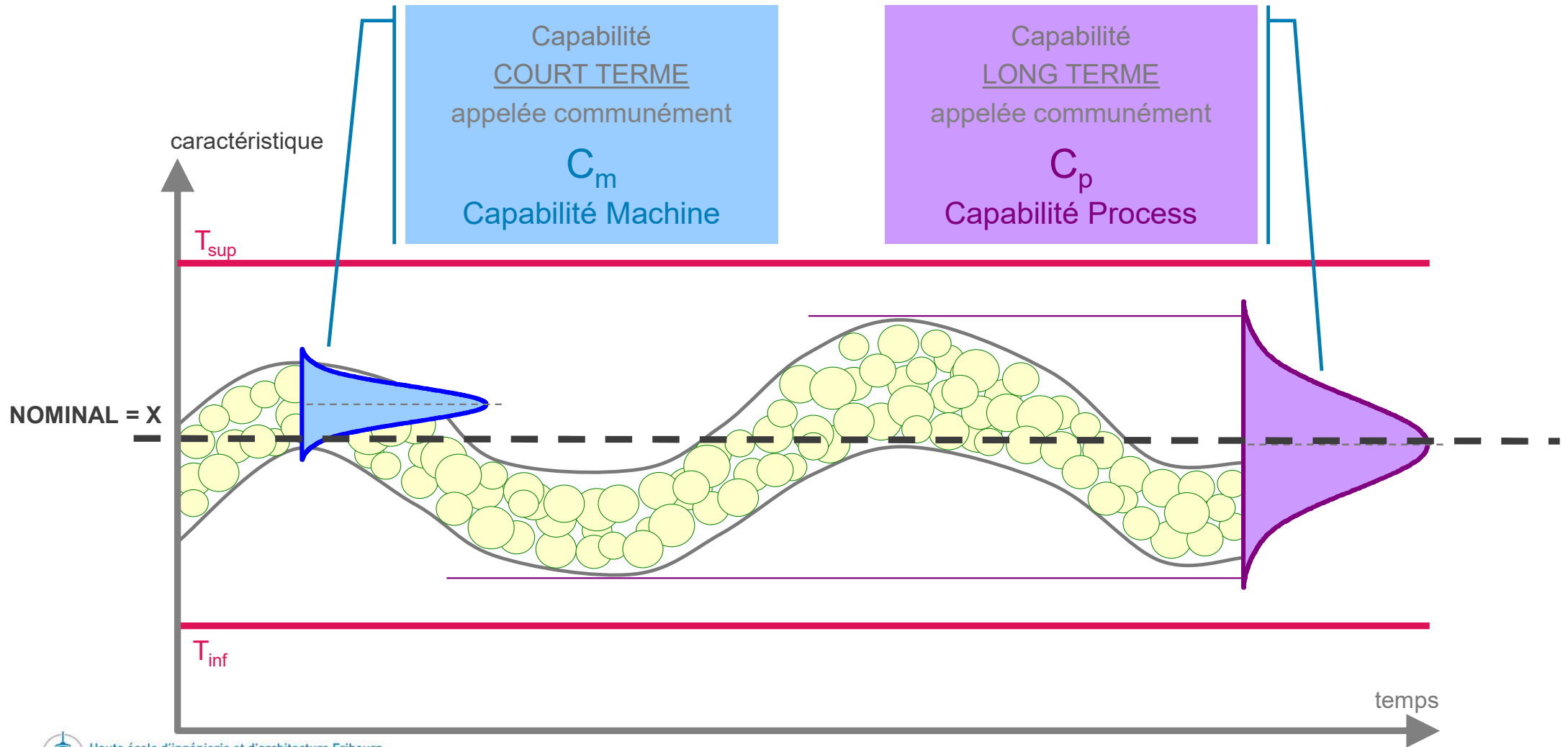
la dispersion $-6\sigma-$ (ce qu'on est capable de faire)

la notion de Capabilité

- La capabilité permet de caractériser la variabilité du processus de fabrication et de mesurer sa performance



Les Capabilités Court terme et Long Terme



Les Capabilités Machine et Process

C_m
Capabilité Machine

Capabilité du procédé à court terme

L'étude doit être menée

- sur une courte période
- avec un Milieu constant
- dans une Matière uniforme
- avec une Main d'œuvre avertie
- et avec les mêmes Méthodes

$$C_m = \frac{IT}{6\sigma_{CT}}$$

sur une période Court Terme

C_p
Capabilité Process

Performance du procédé à long terme

L'étude doit être menée

- sur une période représentative de la série
- en prenant en compte l'ensemble des influences possibles : milieu, matières, main d'œuvre, méthode, machine

$$C_p = \frac{IT}{6\sigma_{LT}}$$

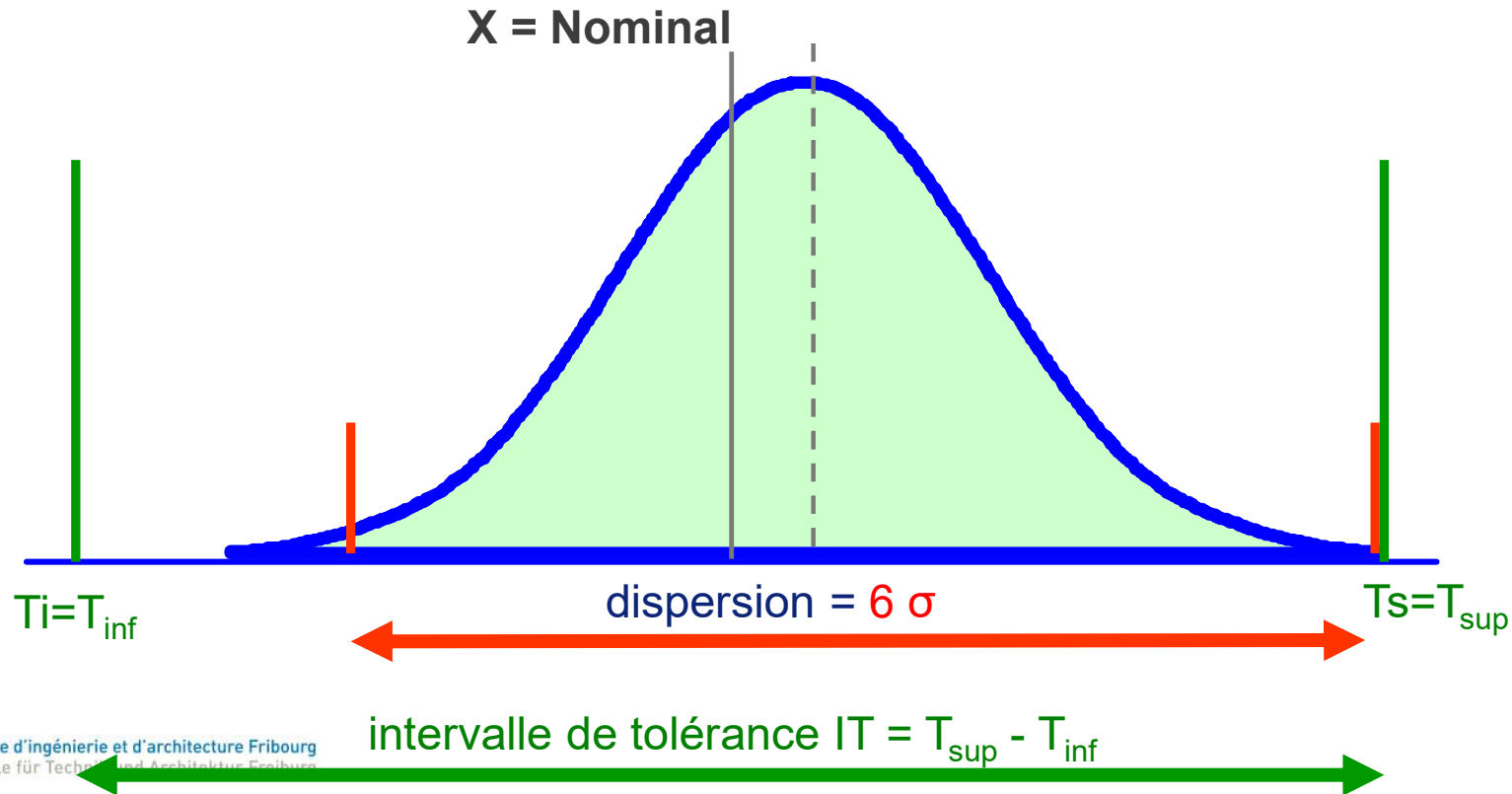
sur une période Long Terme

les Capabilités en résumé...

		Source de variabilité	
		Court Terme	Long Terme
Objectifs	minimum	$C_m > 1,67$	$C_p > 1.33$
	excellence	$C_m > 2$	$C_p > 1.5$

Mais quid si le processus est décentré ?

- La capabilité permet de caractériser la variabilité du processus de fabrication et de mesurer sa performance



Les Capabilités Machine et Process en prenant en compte le décentrage

C_{mk}
Capabilité Machine

Capabilité du procédé à court terme prenant en compte le décentrage

L'étude doit être menée

- sur une courte période
- avec un Milieu constant
- dans une Matière uniforme
- avec une Main d'œuvre avertie
- et avec les mêmes Méthodes

$$C_{mk} = \min \left(\frac{T_s - X}{3\sigma_{CT}}, \frac{X - T_i}{3\sigma_{CT}} \right)$$

sur une période Court Terme

C_{pk}
Capabilité Process

Performance du procédé à long terme prenant en compte le décentrage

L'étude doit être menée

- sur une période représentative de la série
- en prenant en compte l'ensemble des influences possibles : milieu, matières, main d'œuvre, méthode, machine

$$C_{pk} = \min \left(\frac{T_s - X}{3\sigma_{LT}}, \frac{X - T_i}{3\sigma_{LT}} \right)$$

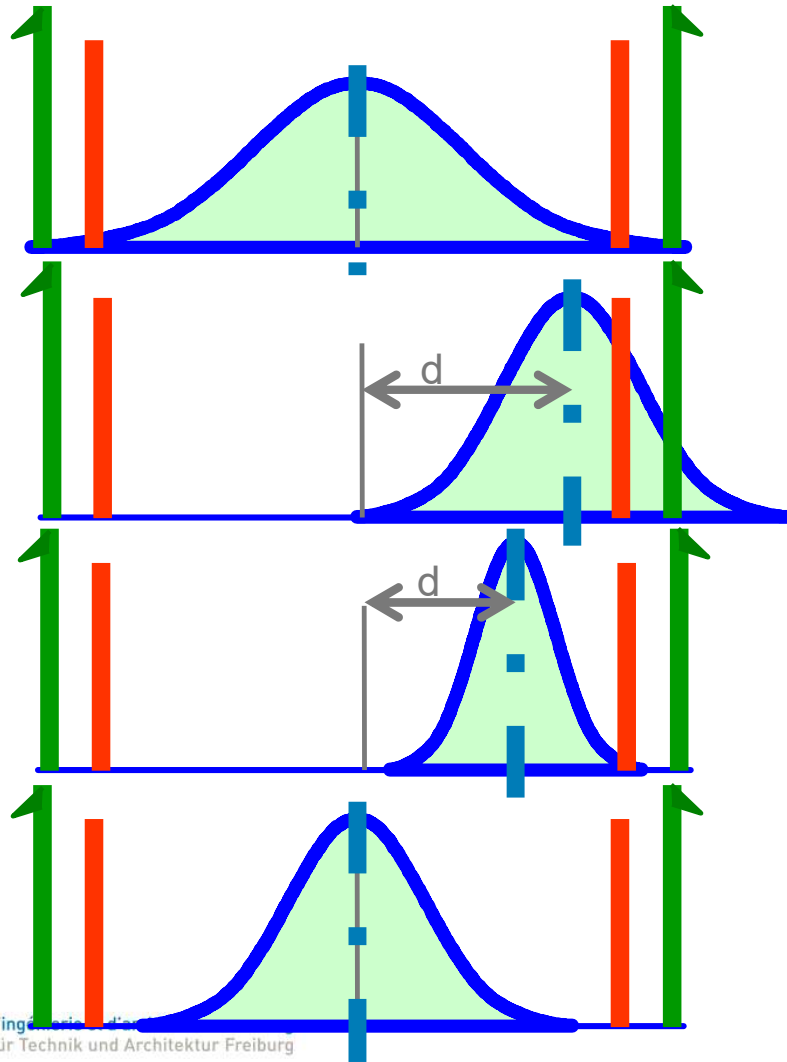
sur une période Long Terme

les Capabilités en résumé...

		Source de variabilité	
		Court Terme	Long Terme
Objectifs	minimum	$C_m > 1,67$	$C_p > 1.33$
	excellence	$C_m > 2$	$C_p > 1.5$

Si C_{mk} et/ou $C_{pk} < 1,33$ le procédé est décentré (dérégulé)

les Capabilités en résumé...



$$C_p = 1,33 \text{ et } C_{pk} > 1.33$$

Procédé non capable

>> action sur les 6M

$$C_p > 1.66 - C_{pk} < 1.33$$

Procédé potentiellement capable mais décentré >> action sur le réglage

$$C_p > 2 - C_{pk} < 1.33$$

Procédé capable mais qui dérive
>> action de recentrage du procédé

$$C_p = 2 - C_p = 2$$

Procédé capable et centré

>> action : maintenir en l'état le procédé

la notion de Capabilité : signification opérationnelle

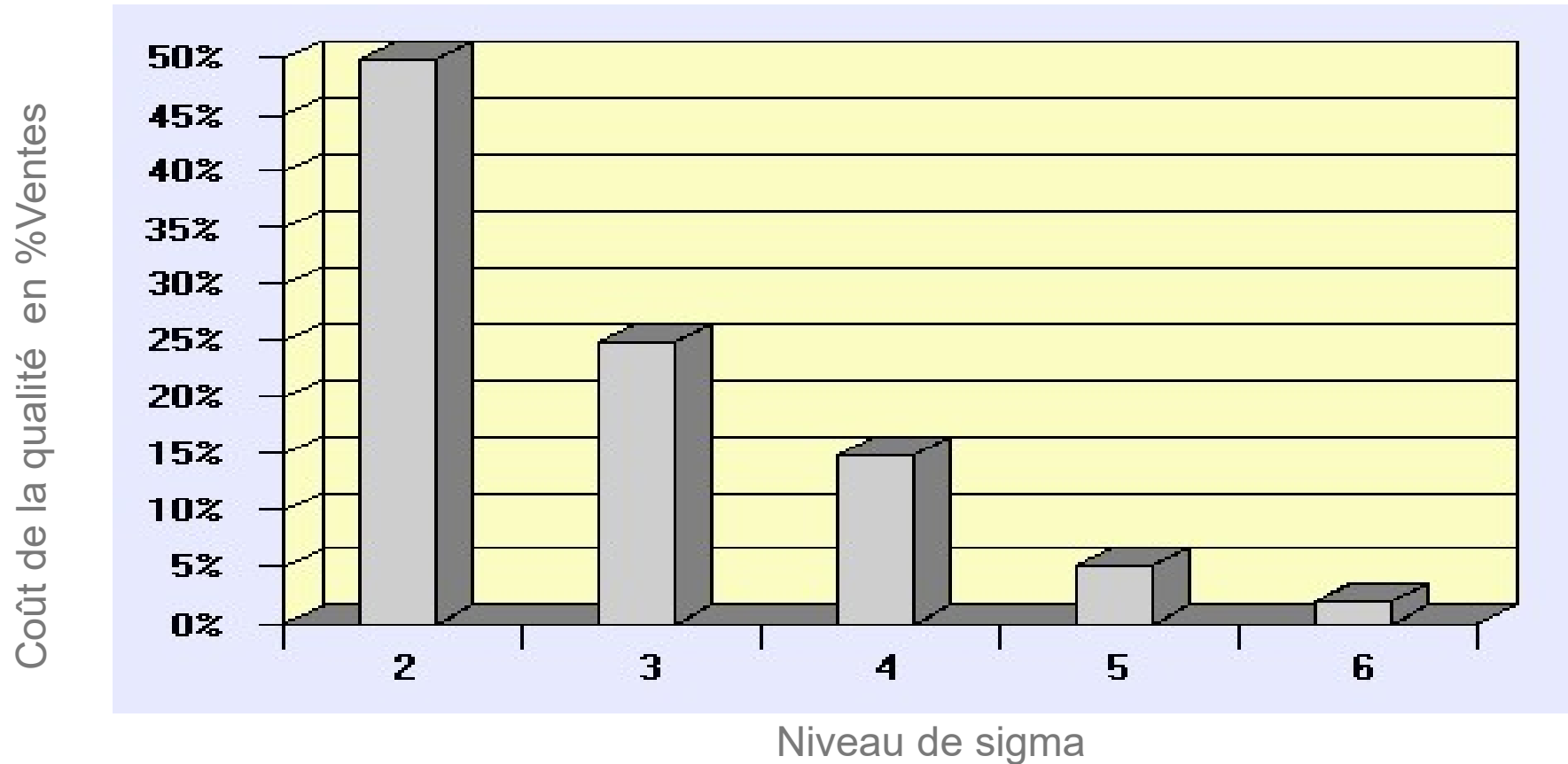
Les statisticiens ont constaté qu'un processus ne reste jamais parfaitement centré.

Avec le temps, la moyenne "dérive" à cause : de l'usure des outils, des changements de température, des variations de matières premières, ...

→ une règle empirique : la moyenne peut varier jusqu'à **1,5 Sigma** par rapport au centre théorique.

	3.8 Sigma <i>CP=1</i>	6 Sigma (6+1.5 en réalité) <i>CP=2</i>
Défauts par million	10 000	3.4
Prod. 1ere qualité	99%	99.99966%
Eau potable	15 minutes d'eau non potable chaque jour	1 minute non potable tous les 7 mois
Erreurs	5 000 erreurs médicales par semaine	1,7 opérations ratées par semaine
Aéroport	1 atterrissage raté par jour	1 atterrissage raté tous les 5 ans
Electricité	Pas d'électricité 3 heures par mois	Une heure de coupure tous les 34 ans

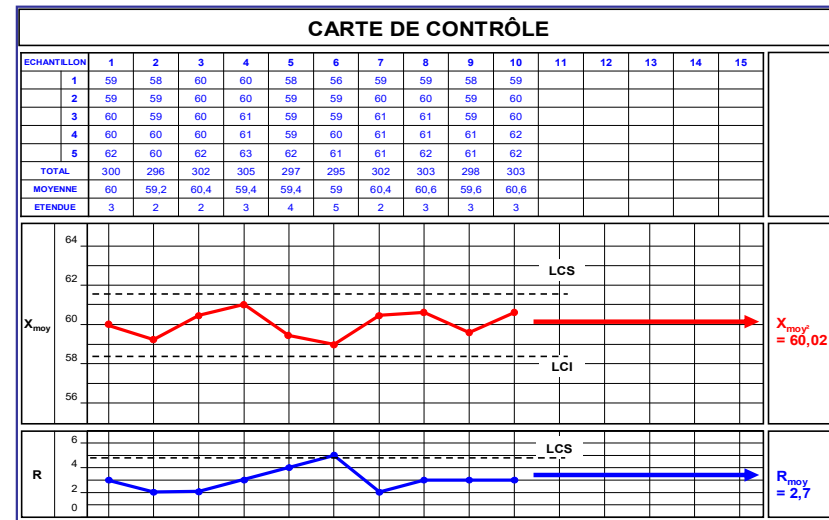
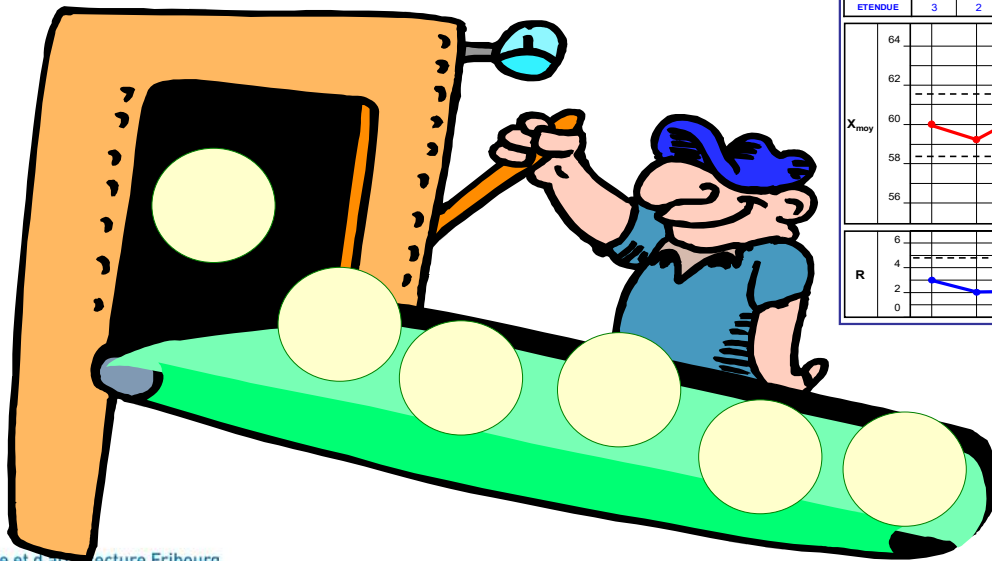
Coût de la non qualité en fonction du niveau Sigma



(Source: The vision of Six Sigma: A Roadmap for Breakthrough, Fifth Edition, M.T Harry.)

Surveillance du procédé de formage

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

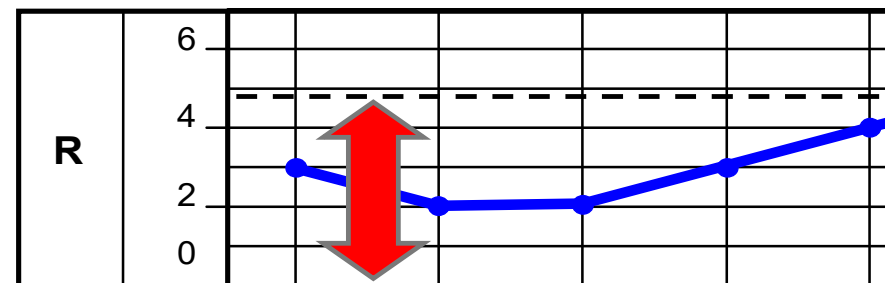
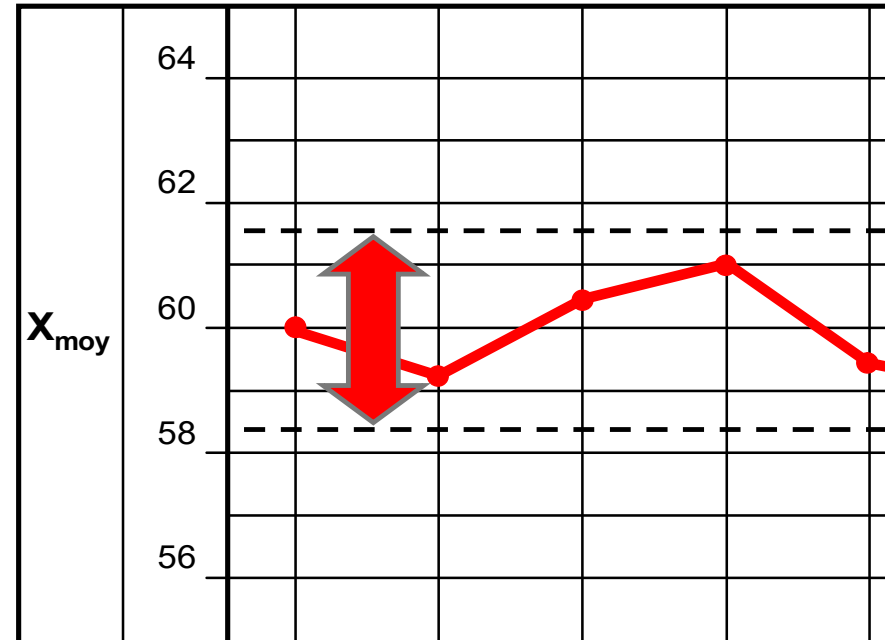
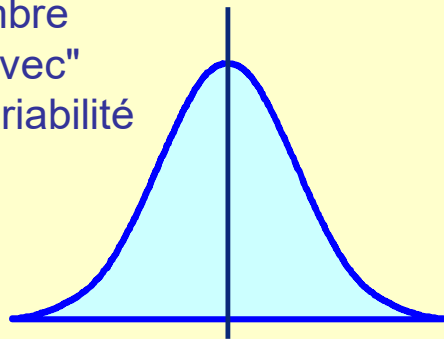


Les limites de contrôle

- ce sont les limites dans lesquelles il est naturel, du fait des causes communes, que le procédé varie

CAUSES COMMUNES

- nombreuses sources de variation
- toujours présentes
- en grand nombre
- il faut "vivre avec"
- donnent la variabilité intrinsèque du procédé



Calcul des limites de contrôle (exemple)

Pour les moyennes :

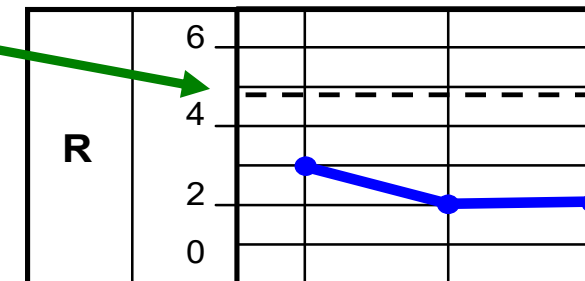
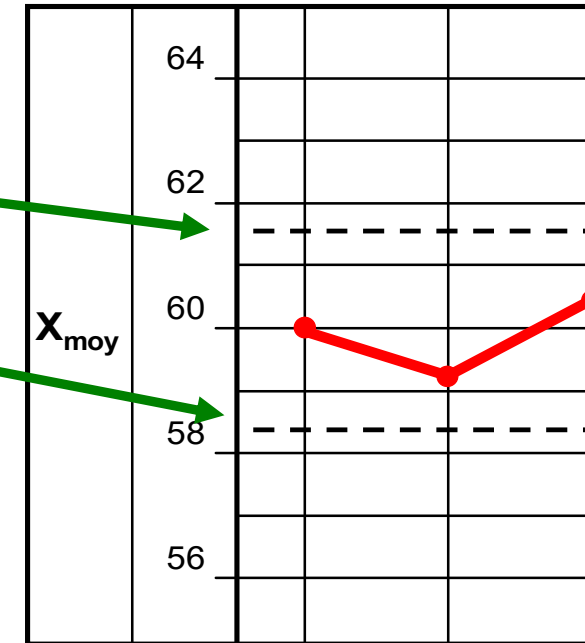
$$LCS = \text{Cible} + A \times R_{\text{moy}}$$

$$LCI = \text{Cible} - A \times R_{\text{moy}}$$

Pour les étendues :

$$LCS = D \times R_{\text{moy}}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1,88	1,02	0,73	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31
D	3,27	2,57	2,28	2,11	2,00	1,92	1,86	1,82	1,78

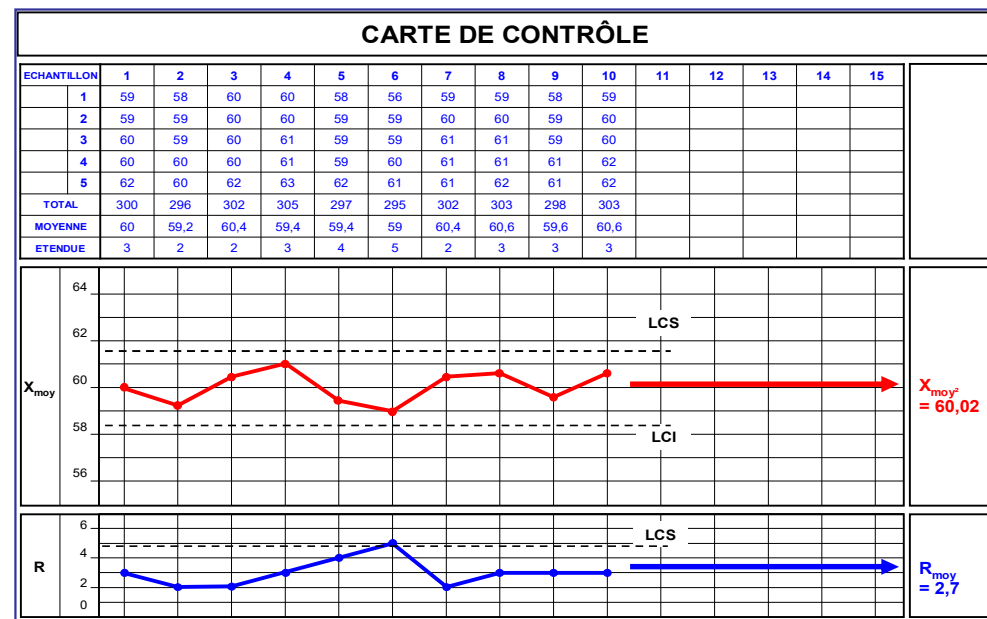


Analyse des cartes de contrôle

5 situations types
- moyennes
- étendues



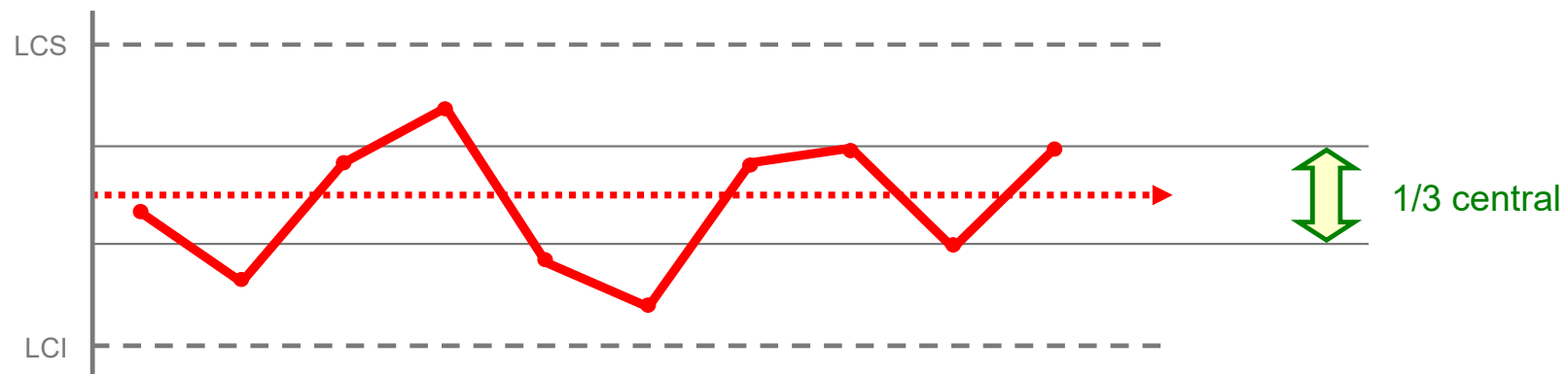
5 décisions
pour le pilotage



Situation 1

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



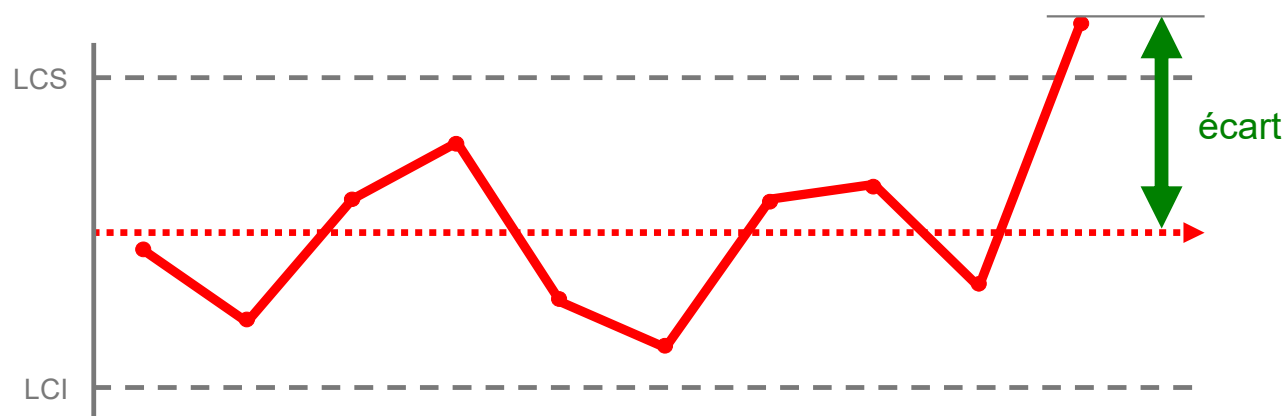
Décision :

- PAS D'INTERVENTION

Situation 2

Points hors limite :

- le dernier point tracé a franchi une limite de contrôle



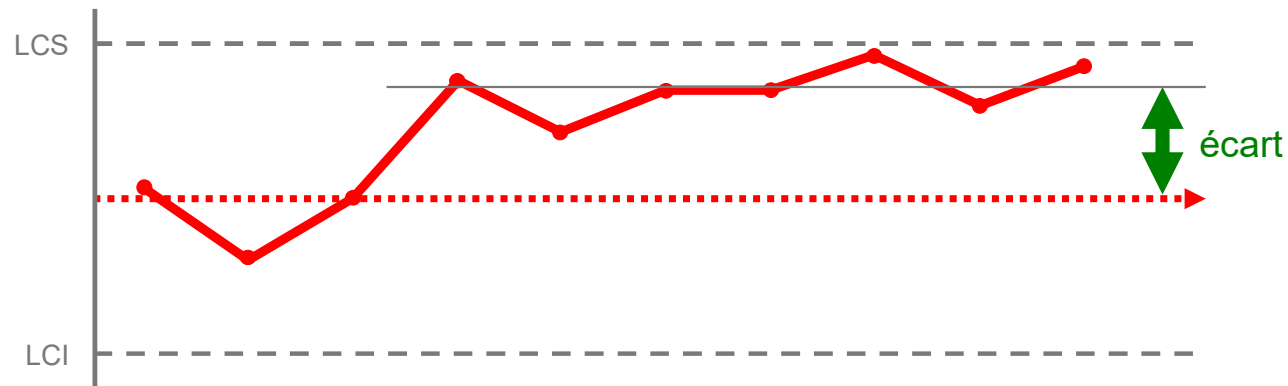
Décision :

- régler le procédé de la valeur de l'écart qui sépare le point de la valeur cible

Situation 3

Tendance supérieure ou inférieure :

- 7 points consécutifs sont supérieurs ou inférieurs à la moyenne



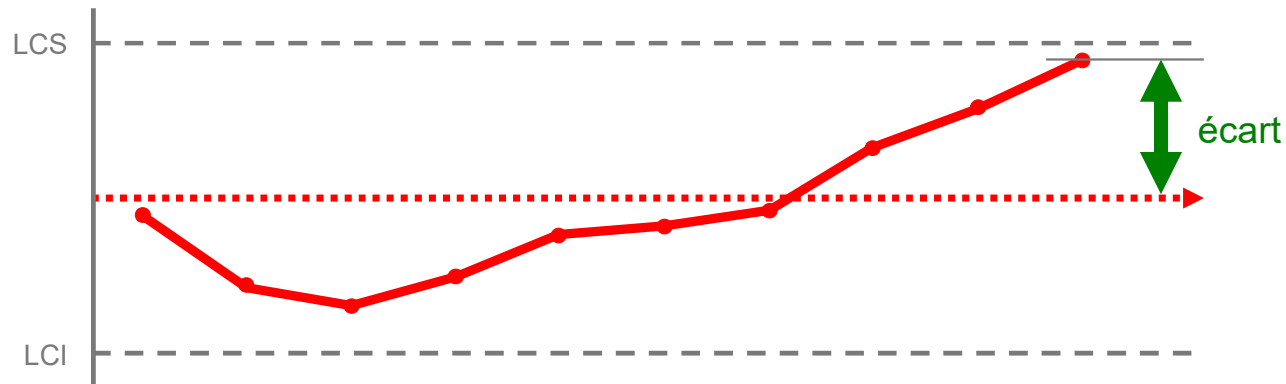
Décision :

- régler le procédé de l'écart moyen qui sépare la tendance à la valeur cible

Situation 4

Tendance croissante ou décroissante :

- 7 points consécutifs sont en augmentation régulière, ou en diminution régulière



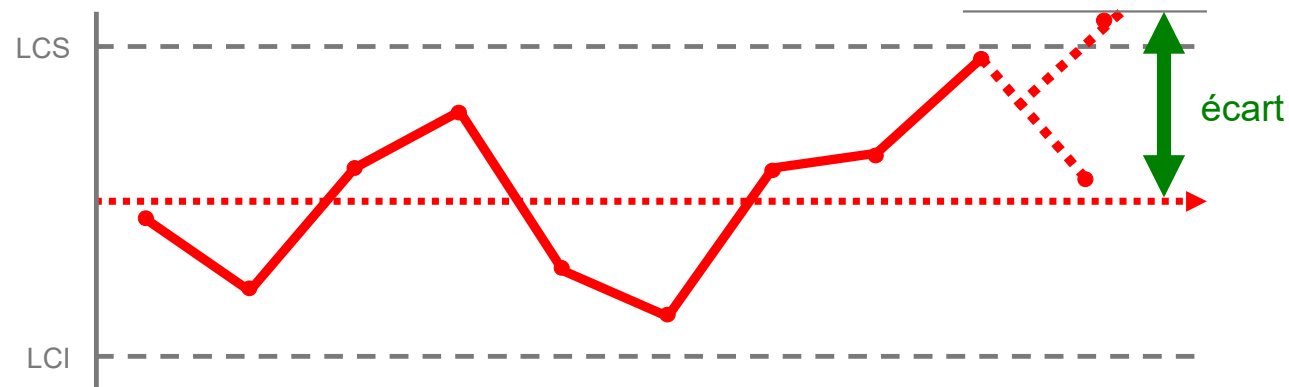
Décision :

- si le dernier point approche les limites de contrôle, régler le procédé de l'écart qui sépare le dernier point à la valeur cible

Situation 5

A point proche des limites :

- le dernier point tracé se situe dans le 1/6 au bord de la carte de contrôle (appelé parfois *limite de surveillance*)

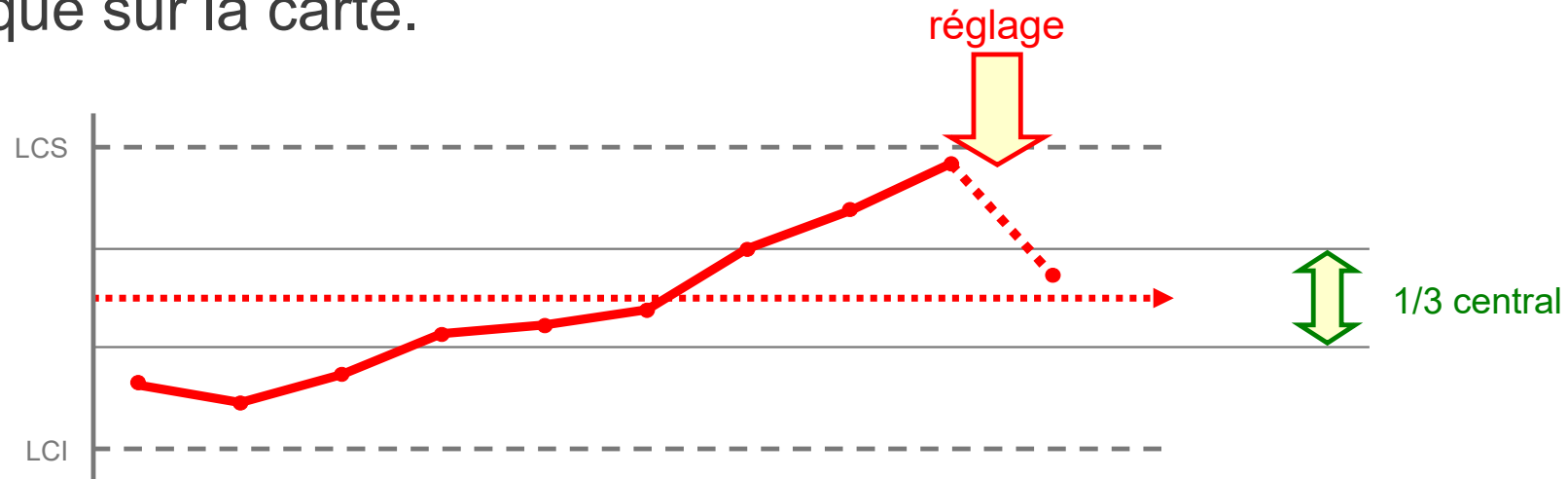


Décision : confirmer en prélevant de suite un autre échantillon

- si le point revient dans le 1/3 central, PAS D'INTERVENTION
- si le point est proche ou en dehors de la limite, régler de la valeur moyenne des deux points

Situations 2 à 5 nécessitant un réglage

- En cas de réglage, un nouvel échantillon est mesuré et marqué sur la carte.

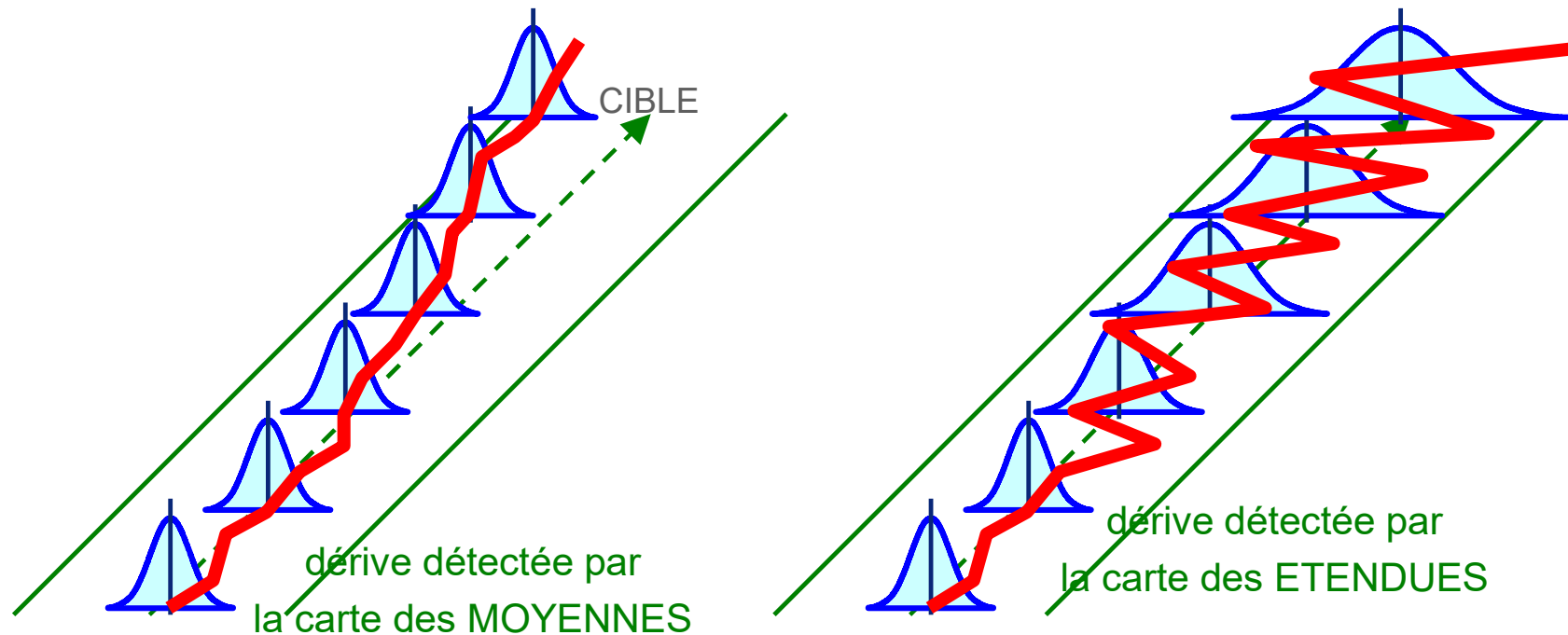


- Pour être acceptable, le point doit se situer dans le tiers central de la carte des moyennes

Procédé "sous contrôle"

Un procédé est dit "**sous contrôle**" lorsque tous les points :

- sont répartis en forme de courbe en cloche
- à l'intérieur des limites de contrôle



L'Amélioration par les cartes de contrôle

OBSERVATION DU PROCEDE

but = connaître la variabilité naturelle du procédé (sans causes spéciales)
comment = en réalisant une carte de contrôle sans limite



CALCUL DES CARTES

but = fixer les limites de variation générées par les causes normales
comment = en utilisant la moyenne des étendues observées



AMELIORATION DE LA CAPABILITE

buts =

- prévenir l'apparition de causes spéciales
- découvrir les actions susceptibles d'améliorer la capabilité du procédé

comment = en détectant sur les cartes les variations de réglage et de capabilité

Synthèse

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 99,99932 % 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)

