

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Type : **L8(7 fact * 2 niv)**

Nb essais (NE) : 8

Nb facteurs (NFc) 7

Nb interactions (Nint)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7
	Facteurs contrôlés						
	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

Cours Plans d'expériences sur les plans dynamiques

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

But des plans dynamiques

Spécificité des plans Taguchi, les plans dynamiques ont pour but d'optimiser un système non pas en un point comme les systèmes statiques mais sur tout un domaine de fonctionnement.

Ces plans très puissants nécessitent pour chaque essai du plan de tester tous les points souhaités du domaine de fonctionnement.

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

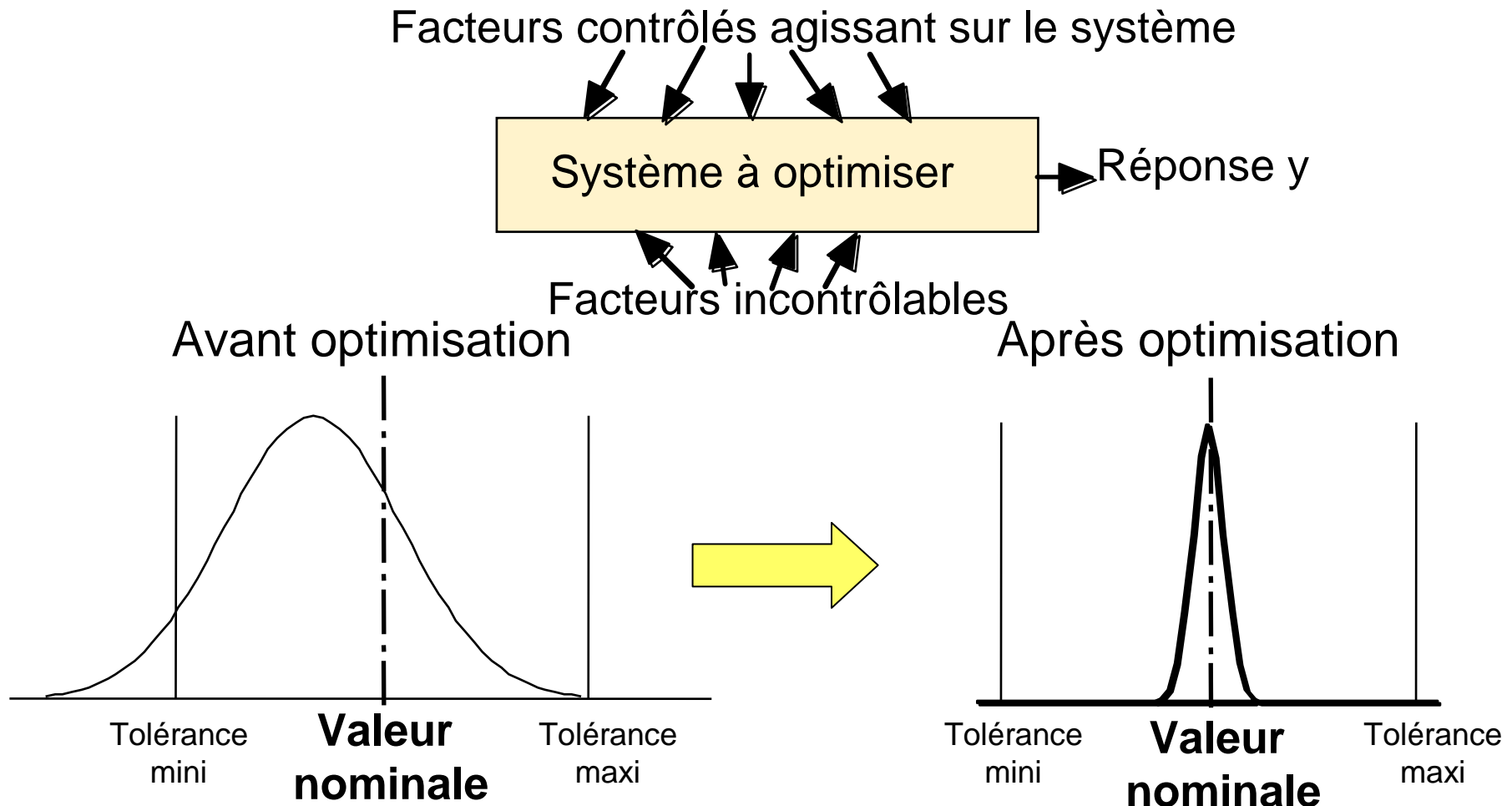
Exemple de plan dynamique

Un moteur à explosion n'a pas un rendement identique sur toute la plage des régimes moteurs possibles; au ralenti et aux bas régimes le rendement est mauvais puis augmente jusqu'à parvenir à un maximum au alentour de 3000 tr/mn avant de baisser progressivement quand le régime augmente.

Les techniciens des études veulent rechercher la combinaison des niveaux de facteurs qui permettra au véhicule d'avoir un rendement le plus constant possible sur la plage de régime 2000 tr/mn à 4000 tr/mn.

Pour réaliser l'expérimentation, ils feront tourner successivement le moteur à 2000, 2500, 3000, 3500 et 4000 tr/mn (le facteur signal) et mesureront les rendements (la réponse) pour ces 5 régimes et ce pour chacun des essais du plan d'expériences.

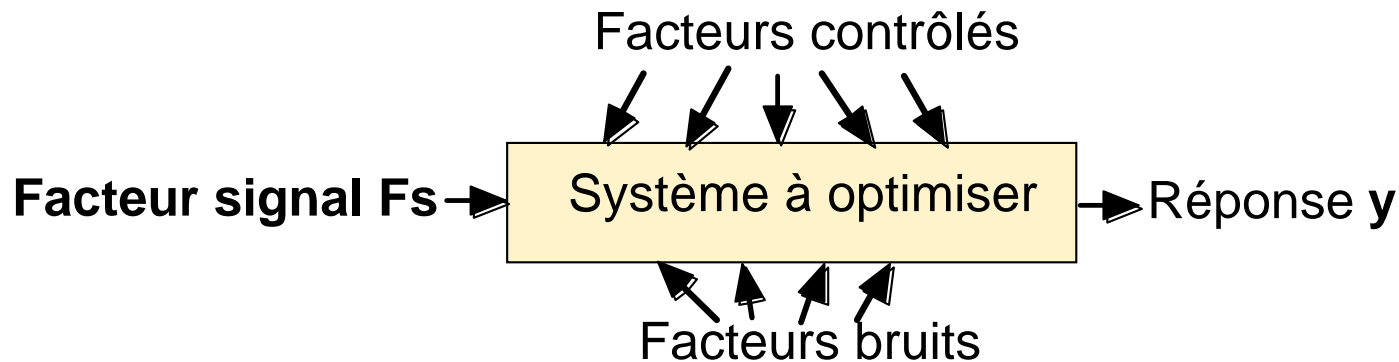
Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques



Dans ce système, la **cible** à atteindre (la valeur nominale) **est statique**.
Peut-on envisager une autre approche ?

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Schéma d'un système dynamique



La réponse y du système dépend de la valeur du Facteur signal F_s

$$y = f(F_s) \quad (y \text{ est fonction de } F_s)$$

La **relation idéale** devant exister entre le facteur signal F_s et la réponse y **est définie par le concepteur du système.**

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Champ d'application des systèmes dynamiques

- les systèmes passifs de mesure :
 - justesse de la valeur affichée par rapport à la grandeur physique mesurée, sensibilité, fidélité,
- les systèmes automatiques d'asservissement, de régulation :
 - respect de la fonction prévue pour l'automatisme (action d'arrêt, de mise en marche, modification d'une consigne, ...) par rapport à une grandeur physique mesurée, sensibilité, fidélité,
- les systèmes d'ajustement sur une valeur cible :
 - processus de fabrication devant produire des produits identiques malgré une variation mesurée d'une matière première par exemple.

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Types de relation entre le facteur signal et la réponse

- relation linéaire :
 - mesure de l'écart de linéarité entre la courbe réelle et la droite qui s'en rapproche le plus,
 - mesure de la dispersion des n points mesurés (répétition) pour chaque valeur du facteur signal,
 - mesure de la sensibilité (pente de la droite),

- relation continue non linéaire :
 - mesure de l'écart entre la courbe réelle et la courbe idéale,
 - mesure de la dispersion des n points mesurés (répétition) pour chaque valeur du facteur signal,

- relation discontinue et de forme binaire :
 - mesure du respect de la fonction pour des valeurs testées encadrant de manière proche chaque valeur signal cible,
 - mesure de la dispersion des n points mesurés (répétition) pour chaque valeur testée encadrant de manière proche chaque valeur signal cible.

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Optimisation des systèmes dynamiques

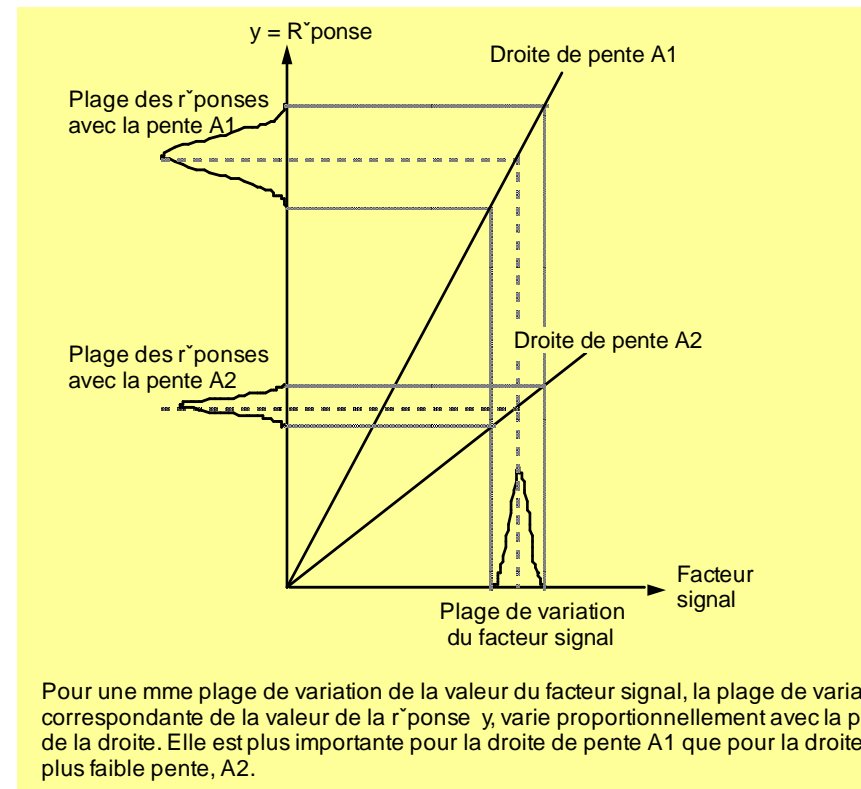
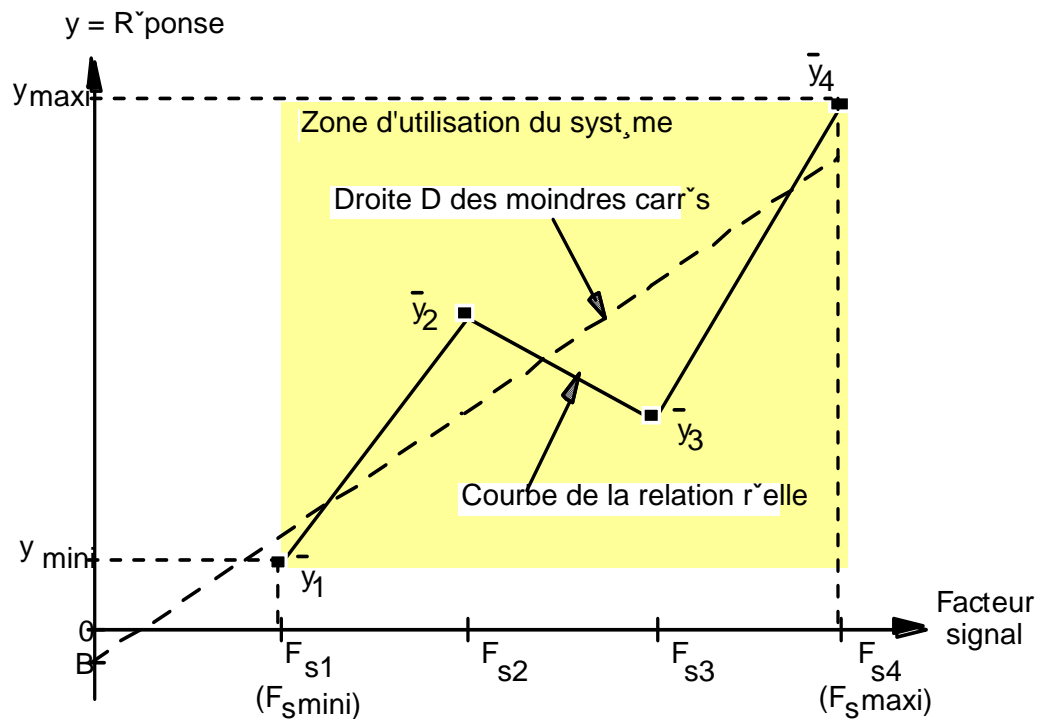
Pour améliorer la performance d'un système dynamique, il faut conjointement :

- Se rapprocher le plus possible de la relation idéale
= minimiser les écarts entre les relations réelle et idéale
- Améliorer la fiabilité de cette relation
= minimiser la variabilité due aux facteurs bruits
- Obtenir une sensibilité suffisante
= réponse significative / faible modification du facteur signal

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Relation linéaire

Sensibilité \rightarrow pente plus forte = A



Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Relation linéaire

$$S/N(\text{dB}) = 10 \log \frac{A^2}{V_e}$$

$$V_e = \frac{|S_T - S_D|}{nk - 1}$$

$$A = \frac{\bar{y}_1 F_{s1} + \bar{y}_2 F_{s2} + L + \bar{y}_k F_{sk} - k \bar{y} \bar{F}_s}{F_{s1}^2 + F_{s2}^2 + L + F_{sk}^2 - k \bar{F}_s^2}$$

$$S_T = n(\bar{y}_1^2 + \bar{y}_2^2 + L + \bar{y}_k^2) + n(s_1^2 + s_2^2 + L + s_k^2) - nk \bar{y}^2$$

$$S_D = n \frac{(\bar{y}_1 F_{s1} + \bar{y}_2 F_{s2} + L + \bar{y}_k F_{sk} - k \bar{y} \bar{F}_s)^2}{F_{s1}^2 + F_{s2}^2 + L + F_{sk}^2 - k \bar{F}_s^2}$$

La variance globale V_e regroupe :

- la variance V_r résultant de l'écart entre la relation idéale et la relation réelle,
- la variance V_b du système, provoquée par l'influence des facteurs bruits qui l'entourent.

$$V_b = \frac{(s_1^2 + s_2^2 + L + s_k^2)}{k}$$

$$V_r = V_e - V_b$$

n = nb de répétitions k , \bar{F}_s = nb et moyenne valeurs F_{s1} à F_{sk} données au facteur signal

\bar{y}_1 , s_1 = moyenne et écart-type des n mesures y_{11} , y_{12} , y_{13} , ... effectuées pour F_{s1}

\bar{y} = moyenne des k réponses moyennes

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

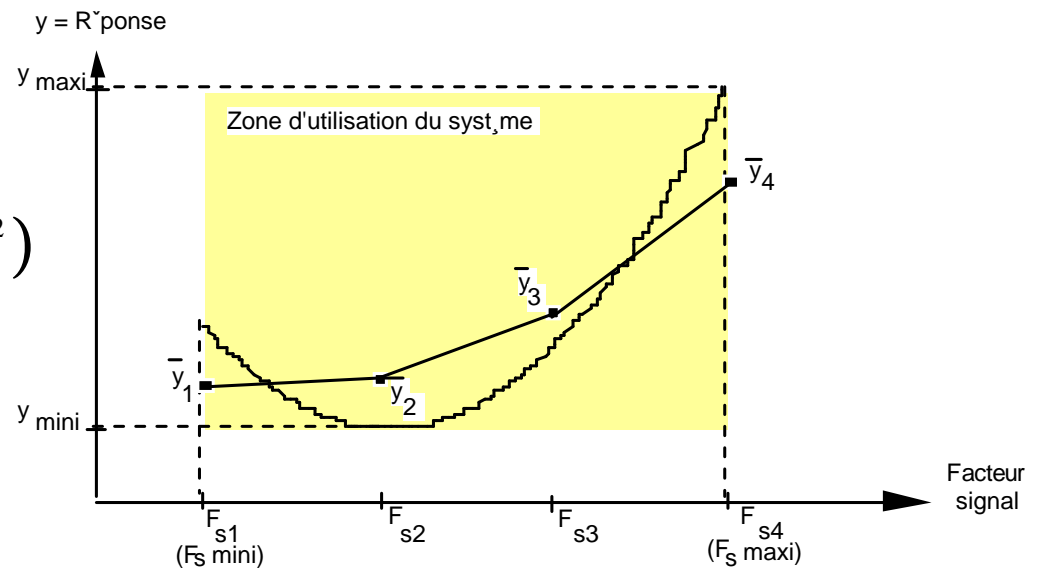
Relation continue non linéaire

$$S/N(\text{dB}) = -10 \log V_e$$

$$V_e = \frac{|S_T - S_D|}{nk - 1}$$

$$S_T = n(\bar{y}_1^2 + \bar{y}_2^2 + L + \bar{y}_k^2) + n(s_1^2 + s_2^2 + L + s_k^2)$$

$$S_D = n(Y_1^2 + Y_2^2 + L + Y_k^2)$$



n = nb de répétitions k = nb valeurs F_{s1} à F_{sk} données au facteur signal

\bar{y}_1 , s_1 = moyenne et écart-type des n mesures y_{11} , y_{12} , y_{13} , ... effectuées pour F_{s1}

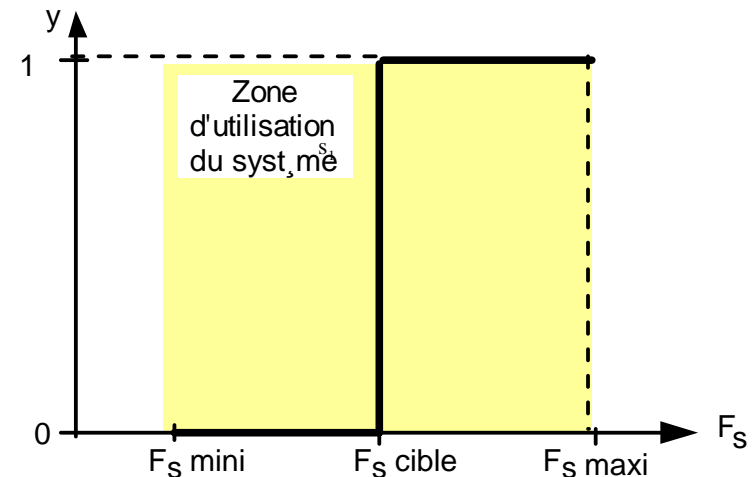
Y_1 = la valeur idéale de la réponse du système pour F_{s1}

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Relation discontinue et de forme binaire

Exemple d'un thermostat :

Facteur signal		Réponse de sortie				
valeur cible	valeur réelle	idéale Y	réelle			
Fsc 1: 100□	Fs 11: 98□	0	1	0	1	1
	Fs 12: 102□	1	1	0	0	1
Fsc 2: 200□	Fs 21: 198□	0	0	1	1	0
	Fs 22: 202□	1	0	0	1	1
Fsc 3: 300□	Fs 31: 298□	0	0	0	0	0
	Fs 32: 302□	1	1	1	0	1
Fsc 4: 400□	Fs 41: 398□	0	1	1	0	0
	Fs 42: 402□	1	1	1	0	0



$$S/N(\text{dB}) = -10 \log V_e \quad V_e = \frac{|S_T - S_D|}{nk - 1}$$

$$S_T = n(\bar{y}_1^2 + \bar{y}_2^2 + L + \bar{y}_k^2) + n(s_1^2 + s_2^2 + L + s_k^2) \quad S_D = n(Y_1^2 + Y_2^2 + L + Y_k^2)$$

n = nb de répétitions k = nb valeurs Fs1 à Fsk données au facteur signal

\bar{y}_1, s_1 = moyenne et écart-type des n mesures y11, y12, y13, ... effectuées pour Fs 1

Y1= la valeur idéale de la réponse du système pour Fs 1

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Choix du facteur signal

Le choix qualitatif d'un facteur signal n'est vraiment évident que pour les *systemes passifs de mesure* : le facteur signal est la caractéristique physique fonctionnelle ou dimensionnelle à mesurer (température, poids, pression, tension électrique, ... , longueur, épaisseur, diamètre, ...).

Pour les deux autres catégories de systèmes dynamiques, le facteur signal doit en principe être le paramètre pour lequel le système est le plus sensible, c'est-à-dire capable de réagir à une faible variation de la valeur de ce paramètre.

L'identification du facteur signal adéquat est parfois délicate et requiert une bonne expertise dans le domaine technique concerné. Il n'existe pas de méthodologie précise pour y parvenir.

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Exemple de choix du facteur signal

Un ressort est roulé à froid sur une machine automatique, à partir d'un fil en acier inoxydable de diamètre 0,85 mm. Ce fil présente une très grande irrégularité de ses caractéristiques mécaniques qui génère des variations incessantes - ressort par ressort - de la hauteur libre (26,1 mm) de $\pm 0,6$ mm de part et d'autre de la valeur spécifiée.

La machine est équipée d'un système de correction automatique des écarts de hauteur, dont le principe de fonctionnement peut être résumé de la façon suivante :

- on affiche, sur le système, la valeur de la hauteur libre à respecter : $H_0 : 26,1$ mm ;
- une jauge (capacitive) mesure la hauteur réelle H_r du dernier ressort fabriqué ;
- le système de correction agit immédiatement sur le séparateur de spires (qui donne le pas d'enroulement du ressort), en fonction de l'écart $H_r - H_0$ constaté, avant l'enroulement du ressort suivant.

Correction obtenue = Ecart de hauteur décelée sur le ressort précédent →

$$\text{Hauteur réelle mesurée} = 1 * \text{Valeur de correction} + 26.1$$

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Configuration des matrices d'expériences

Nb total de produits :

- 9 essais,
 - 3 valeurs pour facteur signal,
 - 5 répétitions,
- 135 produits

N° essai	Matrice interne				Matrice externe			Résultats	
	Facteurs contrôlés				Facteur signal				
	A	B	C	D	F _{s1}	F _{s2}	F _{s3}	S/N	A
1	1	1	1	1					
2	1	2	2	2					
3	1	3	3	3					
4	2	1	2	3	•	•	•	•	•
5	2	2	3	1					
6	2	3	1	2					
7	3	1	3	2					
8	3	2	1	3					
9	3	3	2	1					

Moyenne et écart type des réponses de l'essai n° 4 pour chacune des valeurs F_s

Ratio S/N(dB)

Sensibilité A

calculés à partir de l'ensemble des résultats de l'essai n° 4

Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Exercice

Un système d'extrusion va être testé :

- avec 11 facteurs contrôlés à 2 niveaux,
- pour 3 niveaux de facteur signal,
- pour 10 répétitions à chaque valeur du facteur signal,
- afin d'optimiser le diamètre extérieur d'un tube.

Calculer pour chaque essai (relation linéaire) :

- la sensibilité A,
- les variance/bruits et /relation,
- le ratio S/N.

Calculer l'effet de chaque facteur sur :

- le ratio S/N,
- la sensibilité.

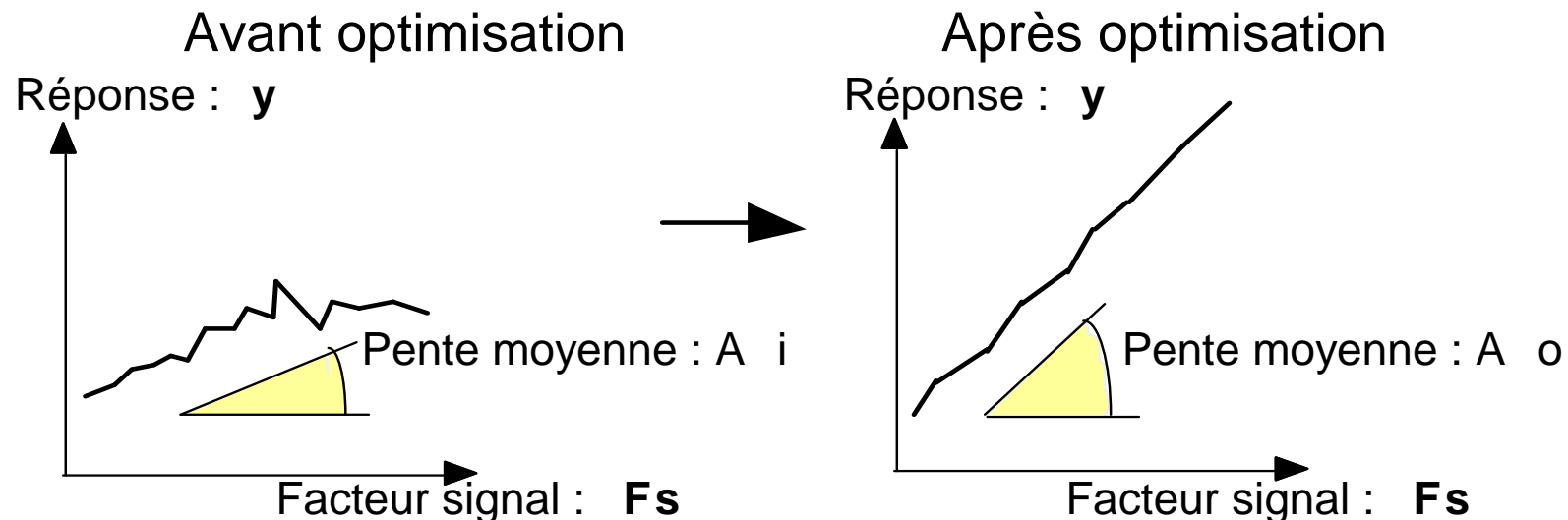
Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Exercice suite

Optimisation : maximiser le ratio S/N

- maximiser la sensibilité,
- minimiser la variance globale.

Ajuster la sensibilité sur la cible visée (0.1) en dégradant le moins possible le ratio S/N



Cours plan d'expérience sur les plans dynamiques

Conclusion sur les plans dynamiques

- L'approche dynamique, en optimisant la fonction pour laquelle le produit ou le processus est conçu, est beaucoup plus puissante que l'approche statique.
- En contrepartie, elle exige une bonne expertise technique et énergétique du système à optimiser, et elle est plus coûteuse en nombre d'essais à réaliser.
- L'optimisation simultanée d'une caractéristique dynamique et d'une caractéristique statique est possible