

généralités sur les plans d'expérience

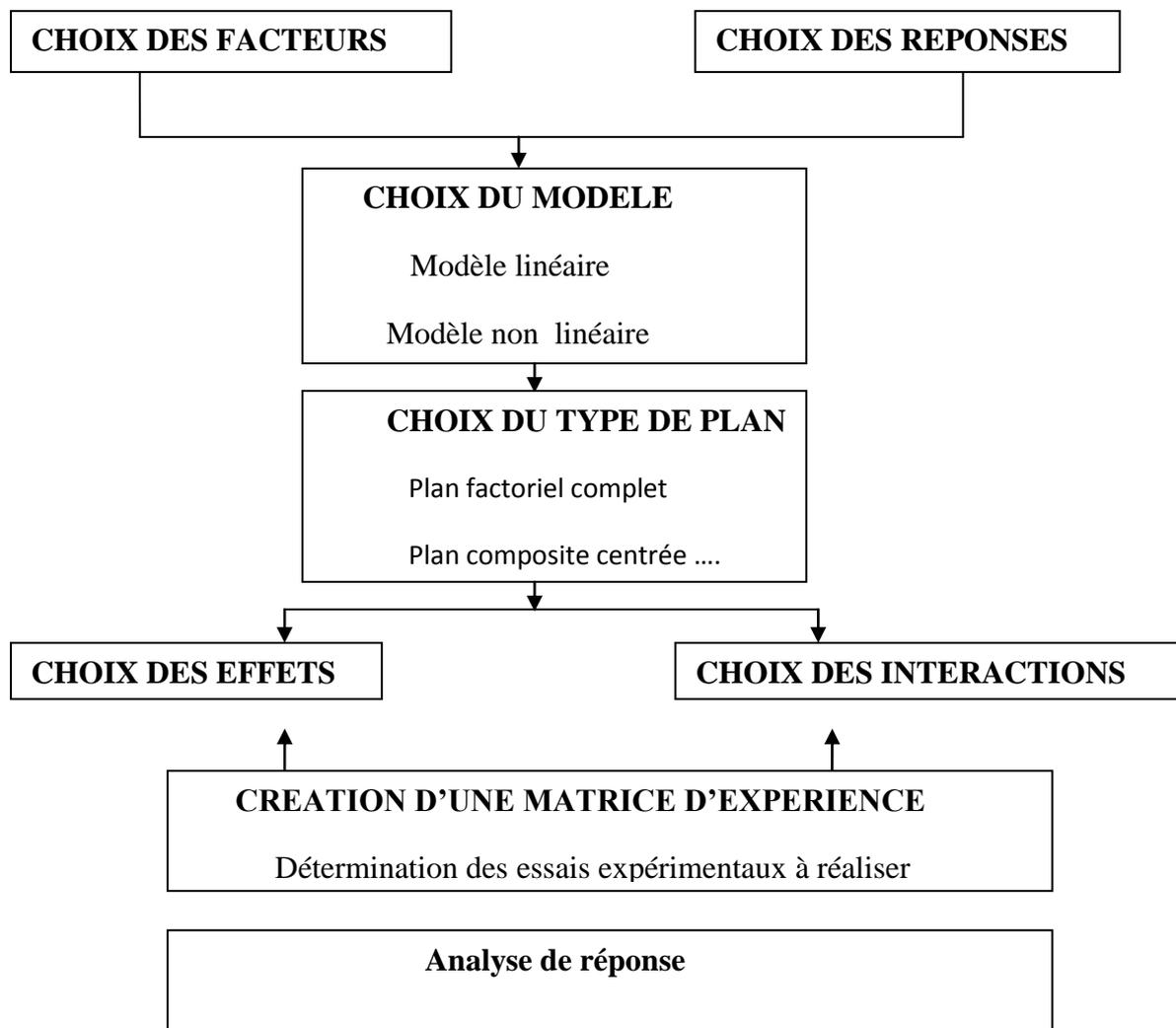
V.1. Introduction :

La plupart des ingénieurs et des techniciens améliorent leurs produits ou leurs processus de production à partir des expériences. Malheureusement, les stratégies couramment utilisées pour mener ces expériences sont souvent coûteuses et peu performantes et elles conduisent à de nombreuses expériences difficiles et non exploitables. Pour toutes ces raisons, de nombreux ingénieurs et techniciens font appel à la planification des expériences.

La technique des plans d'expérience consiste à faire varier simultanément les niveaux de un ou plusieurs facteurs à chaque essai. Ceci permet de réduire fortement le nombre d'expérience à réaliser tout en augmentant le nombre des facteurs étudiés, en détectant les interactions entre les facteurs et les optimaux par rapport à une réponse. Donc, l'utilisation des plans d'expériences minimisera le plus possible le nombre d'expériences .

Dans ce chapitre, nous allons présentés la méthodologie, les différents type des plans d'expérience et les logiciels utilisés.

V.2 Démarche méthodologique :



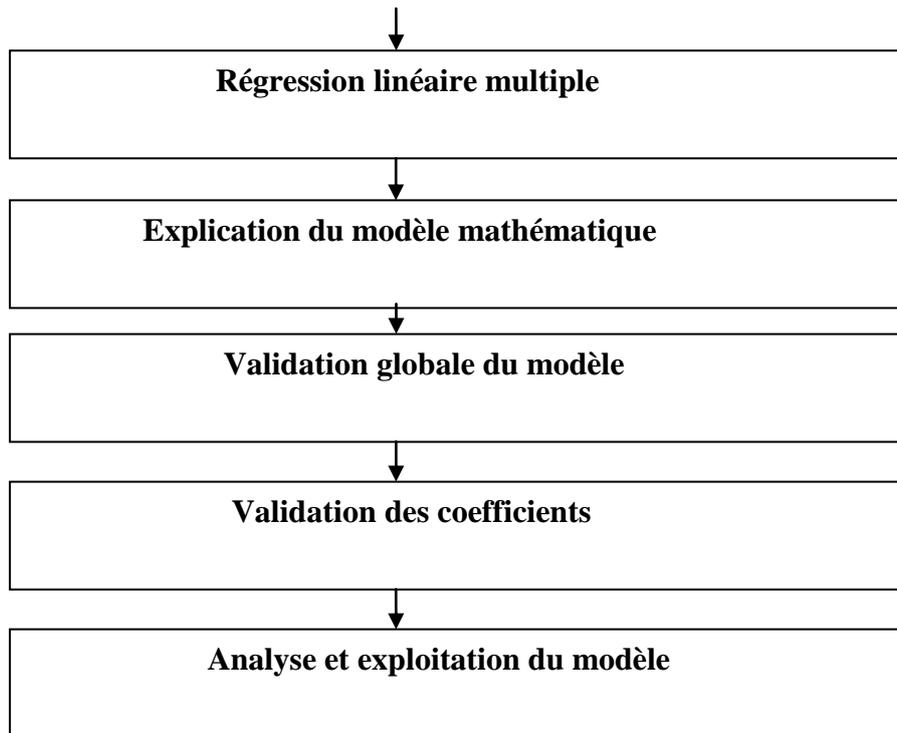


Figure V.1 : organigramme générale de traitement des plans d'expériences [15]

V.3 Contexte et objectif des plans d'expériences

Le contexte de l'utilisation des plans d'expériences recouvre des phénomènes de type « boîte noire » (Figure V.2), que l'on cherche à éclaircir pour mieux comprendre le fonctionnement et en optimiser les performances. La démarche est expérimentale : l'information sur le phénomène est acquise à partir des essais. Cela impose une connaissance minimale du phénomène étudié avant d'entreprendre les essais.

Le but principal de plan d'expérience est la réduction de l'expérimentation qui coûte cher, il faut avoir pour objectif d'obtenir les informations les plus fiables et les plus efficaces possibles en minimum d'essais.

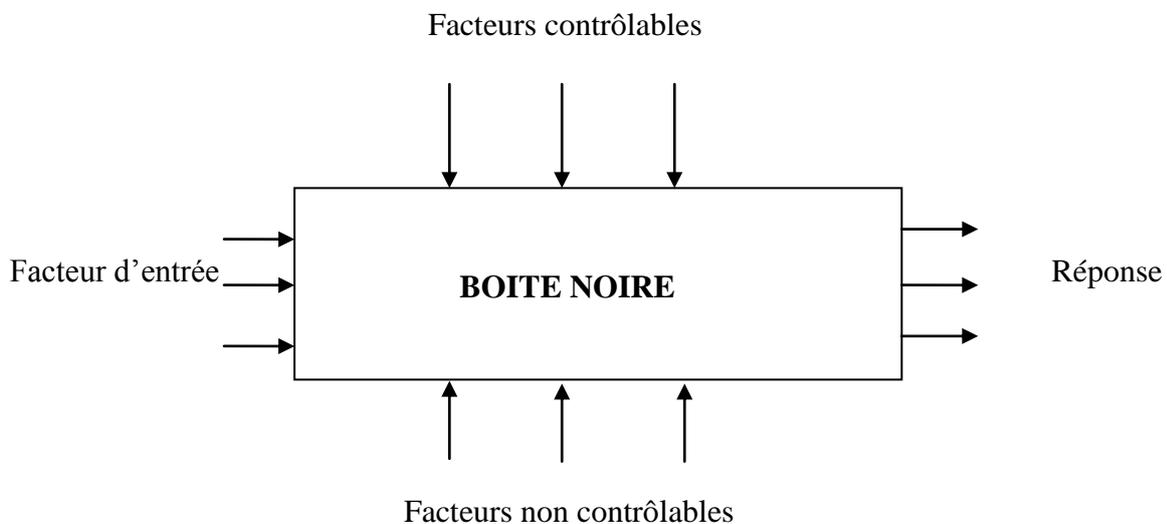


Figure V.3 : système de boîte noire [16]

Parmi les facteurs on distinguera:

- **Les facteurs contrôlables** : qui dépendent directement du choix (pression, température, matériau ...)
- **Les facteurs non contrôlables** : qui varient indépendamment du choix (conditions climatiques, environnement d'utilisation...)
- **Les facteurs d'entrée** : dont on cherche à analyser une influence (matière première, vitesse d'agitation, température,...)

V.4 Terminologies:

Les facteurs étudiés dans un plan d'expériences sont bien entendu les facteurs d'entrée. Ils existent deux types :

➤ **Facteurs quantitatifs**

Facteurs dont la valeur est mesurable, souvent à variation continue par exemple le dosage en ciment, pourcentage d'adjuvant, masse de sable etc. Et rarement à variation discontinue ex: classe de ciment qui est fixée par le cimentier

➤ **Facteurs qualitatifs :**

Facteurs dont la valeur est non mesurable, comme la qualité, le type, la marque, le procédé ou d'autre caractéristique qu'on ne peut quantifier par exemple le type de ciment (CPA. CPJ. CLK...), le procédé de vibration du béton (table vibrante ou aiguille).

• **Niveau d'un facteur :**

Valeur que prend le facteur au cours des essais, il importe d'attribuer à chaque facteur au moins deux niveaux : un niveau supérieur et un niveau inférieur. Pour les facteurs quantitatifs la valeur est algébrique, donc classé numériquement. Pour les facteurs qualitatifs les valeurs ne sont pas mesurables, alors peu importe leur classement L'important est de mettre une borne inférieure et une borne supérieure (+1 et -1). Les niveaux extrêmes de chaque facteur délimitent le domaine de l'étude [15]

• **Valeurs centrées réduites ou codées :**

L'utilisation des variables centrées réduites présente l'intérêt de pouvoir généraliser la théorie des plans d'expériences quel que soient les facteurs ou les domaines d'études retenus. Remplacer les variables naturelles par les variables codées va permettre d'avoir pour chaque facteur le même domaine de variation (entre -1 et +1) et de pouvoir ainsi comparer entre eux l'effet des facteurs. Le niveau bas est ainsi codé (- 1) alors que le niveau haut est codé (+ 1). [15]

Par exemple :

Tableau V.1 : deux facteurs à deux niveaux

Facteur	Niveau (-1)	Niveau (+1)
Dosage en ciment (kg/m ³)	300	400
Masse du sable (kg/m ³)	600	700

Pour le passage des valeurs réelles aux valeurs centrées réduites (codées) dans le cas de facteurs ayant plus deux niveaux nous avons appliqués la relation suivante :

$$a = \frac{[2 \times B - (B^+ + B^-)]}{B^+ - B^-}$$

a : niveau du facteur en valeur centré réduite.

B : niveau du facteur en valeur réelle

B⁺ : niveau supérieur du facteur en valeur réelle

B⁻ : niveau inférieur du facteur en valeur réelle. [15]

- **La réponse :**

La réponse du système correspond ou paramètre mesuré ou observé pour connaître l'effet des facteurs étudiés sur le système (ex : la résistance à la compression...). [17]

- **Les surfaces de réponse :**

À chaque point du domaine d'étude correspond une réponse. À l'ensemble de tous les points du domaine d'étude correspond un ensemble de réponses qui se localise sur une surface appelée surface de réponse figure V.3

En général, on ne connaît que quelques réponses, celles qui correspondent aux points expérimentaux retenus par l'expérimentateur. On interpole à l'aide d'un modèle mathématique, les réponses inconnues pour obtenir la surface de réponse. Les points d'expériences retenus par la théorie des plans d'expériences assurent la meilleure précision possible sur la forme et la position de la surface de réponse. [15]

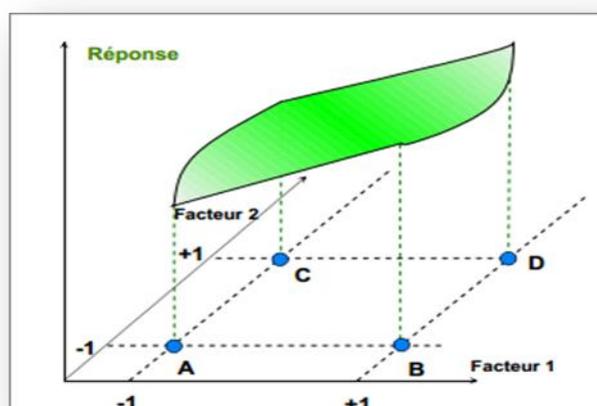


Figure V.3 : Les réponses associées aux points du domaine d'étude formant la surface de réponse. [18]

- **L'effet d'un facteur**

L'effet d'un facteur « A » sur la réponse « y » s'obtient en comparant les valeurs prises par « y » quand A passe du niveau (-1) au niveau (+1). Soient y_1 et y_2 ces valeurs (Figure V.4).

Nous distinguons :

- ❖ **L'effet global par $(y_2 - y_1)$** : C'est la variation de réponse y quand le facteur passe du niveau bas (-1) au niveau haut (+1).
- ❖ **L'effet moyen par $(y_2 - y_1)/2$** : C'est la variation du facteur centré réduit de 2 unités (de -1 à +1).

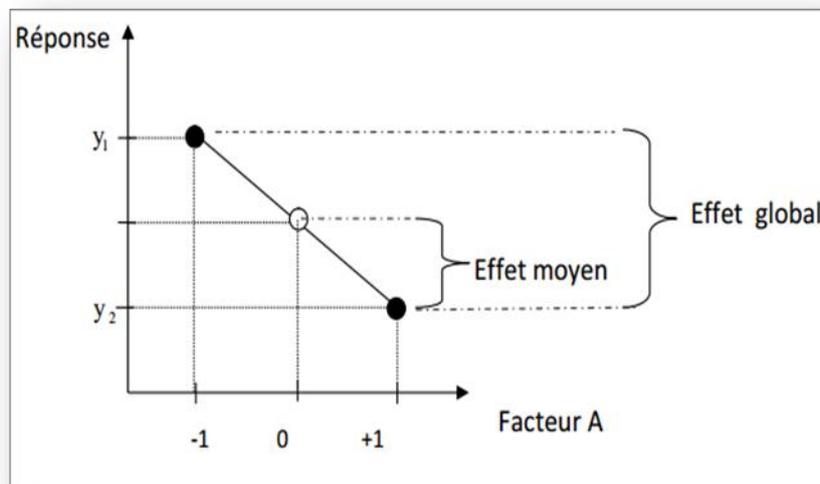
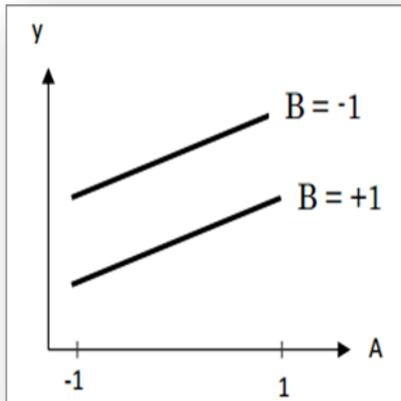


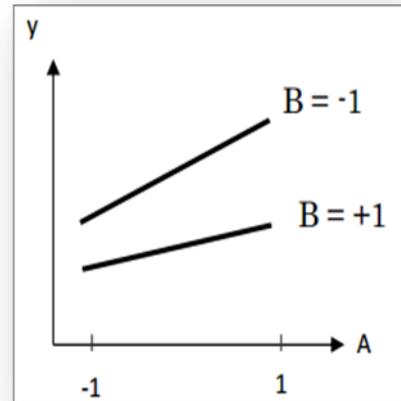
Figure V.4 : Illustration de l'effet global et de l'effet moyen

- **Notion d'interaction**

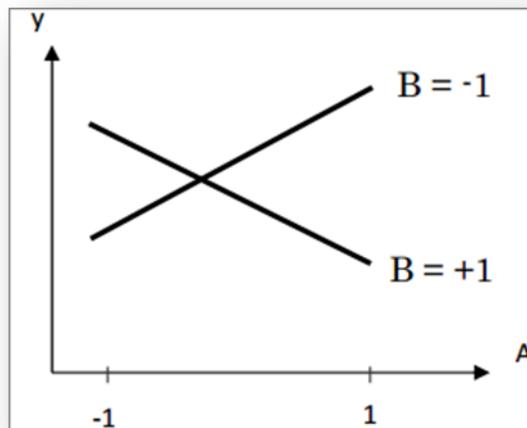
Il y a interaction entre deux facteurs A et B si l'effet de A sur la réponse dépend du niveau de B ou inversement



Pas d'interaction entre A et B



Faible interaction entre A et B



Forte interaction entre A et B

Figure V.5 : Courbes d'interactions. [16]

V.5 Type des plans d'expériences :

Il existe plusieurs types de plan d'expérience, on cite les types suivants :

V.5.1. Plan factoriels complets :

Ce sont les plus utilisés car les plus simples à mettre en œuvre. Ils sont notés 2^k où le 2 correspond maximal et minimal qui délimitent le domaine d'étude d'un facteur et k est le nombre de facteurs étudiés. Pour un plan factoriel complet à k facteurs, il va donc falloir mener 2^k expériences. Le principe consiste alors à répartir, de façon optimale, les essais dans le domaine expérimental. Soit par exemple un plan factoriel complet à 2 facteurs noté 2^2 . [16]

V.5.2. Plan à deux facteurs :

Pour deux facteurs, le domaine d'étude est un carré. Par exemple, la Figure V.6 représente un plan factoriel complet à deux facteurs. Le modèle mathématique postulé est un modèle du premier degré par rapport à chaque facteur :

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_{12} + e$$

- Y : est la réponse
- x_i : représente le niveau attribué au facteur i .
- a_0 : est la valeur de la réponse au centre du domaine d'étude.
- a_1 : est l'effet (ou effet principal) du facteur 1.
- a_2 : est l'effet (ou effet principal) du facteur 2.
- a_{12} : est l'interaction entre les facteurs 1 et 2.
- e : est l'écart. [18]

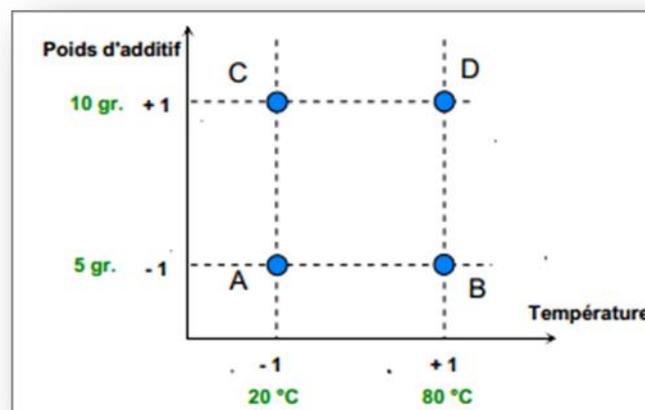


Figure V.6 : Disposition des points expérimentaux d'un plan². [18]

V.6 Conclusion :

Les plans d'expériences sont efficaces, simples à analyser et interpréter. Ils peuvent également réduire le coût. Ils permettent d'utiliser toute la connaissance du produit dont le concepteur peut disposer a priori, offrent un cadre de modélisation rigoureux, et leur mise en œuvre ne nécessite que des connaissances mathématiques élémentaires.