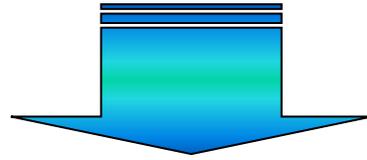
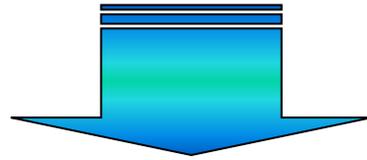




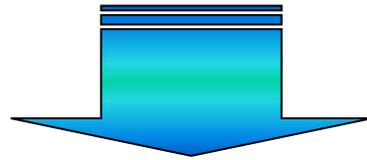
Expériences



Information



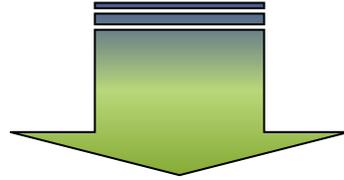
Décision



Risque

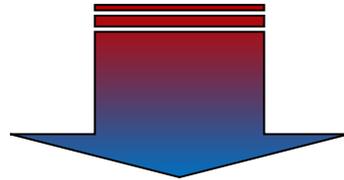


Le risque dépend de la qualité de l'information

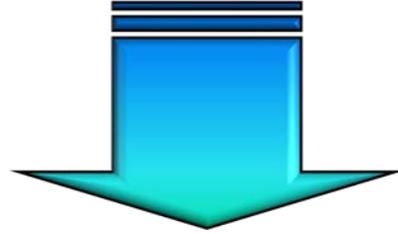


L'information doit être de qualité optimale, ou de qualité acceptable !!!

La qualité de l'information ne dépend pas des résultats expérimentaux et du nombre d'expériences !



La qualité de l'information dépend des conditions expérimentales : elle dépend de la position des points expérimentaux



Planification d'expériences

Un plan d'expériences peut être défini comme une stratégie qui permet d'organiser les expériences de telle sorte que l'information soit obtenue aussi efficacement et précisément que possible

Description du problème

Les objectifs

Liste des paramètres
maitrisables

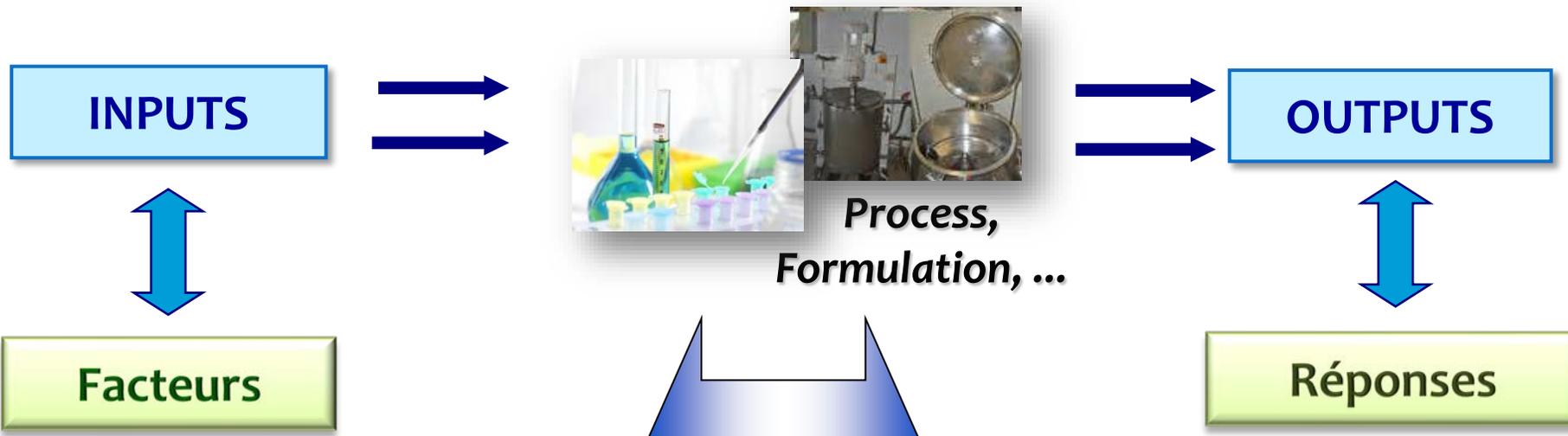
FACTEURS

Liste des propriétés
mesurées

REPONSES

Domaine de variation

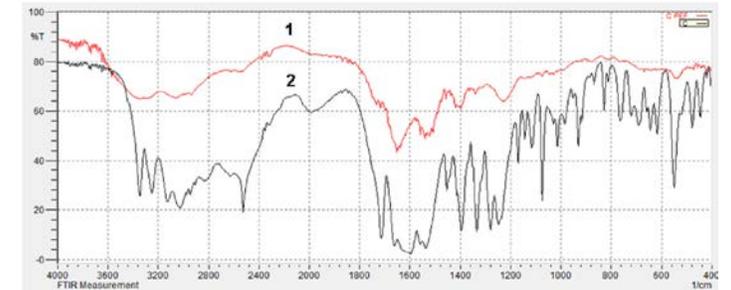




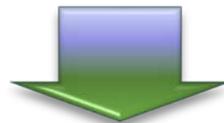
- Température,
- Concentration,
- Intensité,
- Fréquence
-



Nous voulons relier la variation des réponses à la variation des facteurs



Nous devons réaliser des expériences !



**Elaborer une
Stratégie Expérimentale**

Description du problème

Les objectifs

Liste des paramètres
maîtrisables

FACTEURS

Liste des propriétés
mesurées

REPONSES

Domaine de variation

Elaboration de la stratégie expérimentale

Plans d'expériences

Elaboration de la stratégie



Choisir un ensemble d'expériences **conformément**

AUX OBJECTIFS

Recherche exploratoire

Explorer le domaine expérimental uniformément

Criblage de facteurs

Rechercher rapidement, parmi un ensemble de facteurs potentiellement influents, ceux qui le sont effectivement

Etude quantitative de facteurs

Etudier les facteurs retenus d'une façon plus fine : interactions possibles entre les différents facteurs

Optimisation

Rechercher l'optimum d'une ou plusieurs réponses expérimentales pour un process ou une formule

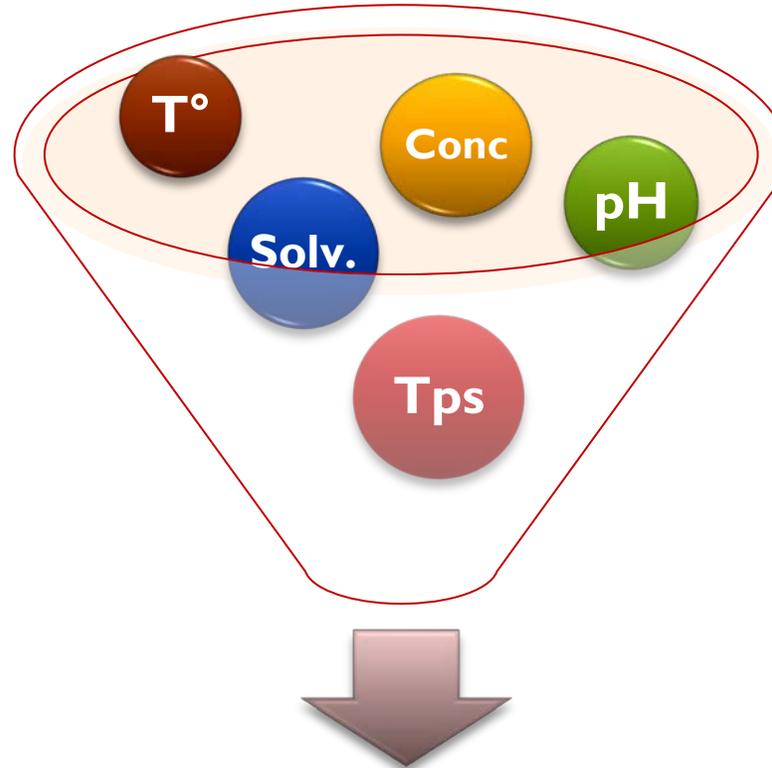
Plan d'expériences adéquat !



Screening de facteurs

Quand ?

Vous avez déjà réalisé quelques essais (< 10) : vous avez maintenant besoin d'un **plan de screening**



Quels facteurs ?

Tous les facteurs **potentiellement influents** pour lesquels on attend une information

- Détecter les facteurs les plus influents
- Comparer le comportement de différentes modalités
- Hiérarchiser les facteurs par ordre d'importance

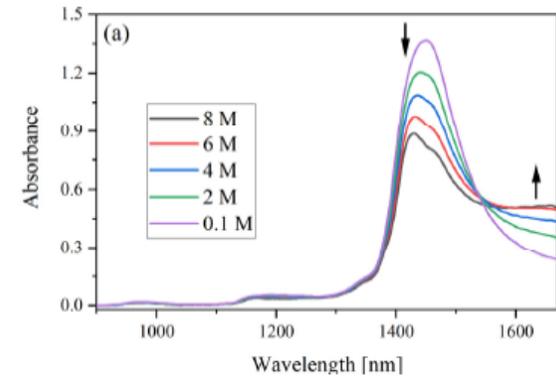
INPUTS



OUTPUTS

Facteurs :

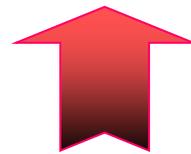
- **Concentration en Acide**
- **Température**
- **Nature Acide**
- **Agitation**



Screening de facteurs

Domaine expérimental

FACTEURS	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
[Acide]	0.1 M	1 M	8 M
Température	10 °C	25 °C	40 °C
Nature de l'acide	HNO ₃	H ₂ SO ₄	HCl
Agitation	Avec	Sans	



Comparer le comportement des différentes modalités pour chaque facteur

Plan d'expériences de screening → 9 expériences



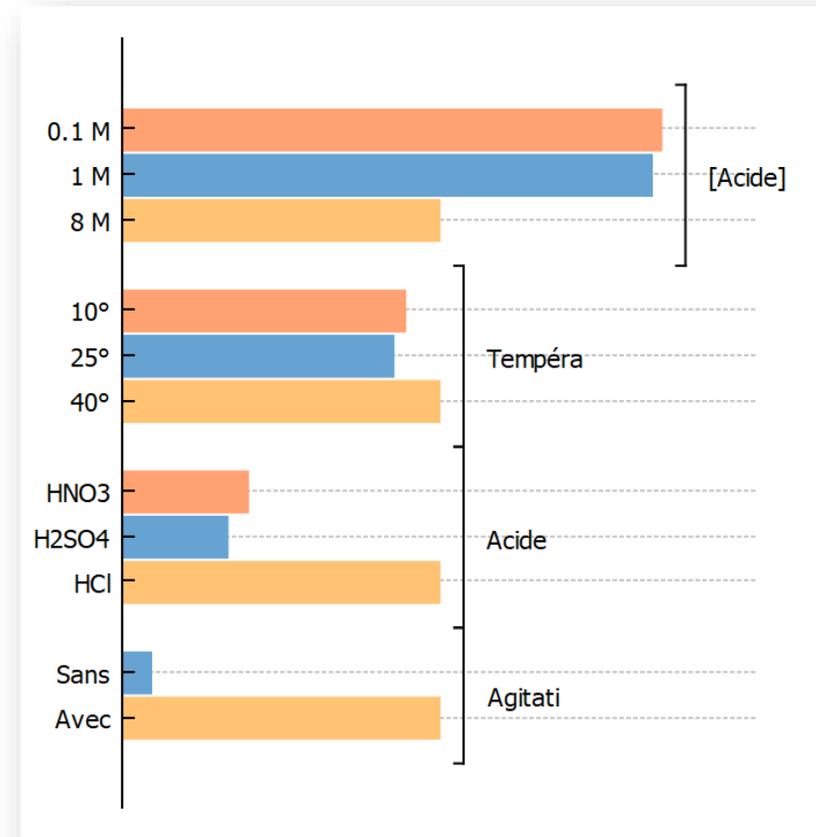
Exper.	[Acide]	Température	Acide	Agitation
1	0.1 M	10°	HNO ₃	avec
2	1 M	25°	H ₂ SO ₄	avec
3	8 M	40°	HCl	avec
4	0.1 M	25°	HCl	sans
5	1 M	40°	HNO ₃	sans
6	8 M	10°	H ₂ SO ₄	sans
7	0.1 M	40°	H ₂ SO ₄	avec
8	1 M	10°	HCl	avec
9	8 M	25°	HNO ₃	avec

ANALYSE

Etude graphique des effets de la réponse Y Rendement

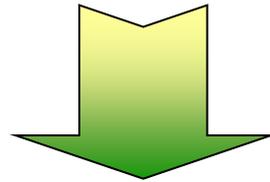
Effets - Rendement

		Effets
		45.20
[Acide]	$b_1 / 2 \rightarrow 1$	0.73
	$b_1 / 3 \rightarrow 1$	17.03
	$b_1 / 3 \rightarrow 2$	16.30
Tempér.	$b_2 / 2 \rightarrow 1$	0.90
	$b_2 / 3 \rightarrow 1$	-2.63
	$b_2 / 3 \rightarrow 2$	-3.53
Acide	$b_3 / 2 \rightarrow 1$	1.57
	$b_3 / 3 \rightarrow 1$	-14.70
	$b_3 / 3 \rightarrow 2$	-16.27
Agitation	$b_4 / 2 \rightarrow 1$	-22.13



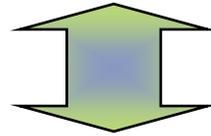
Etude quantitative de facteurs

On considère l'éventuelle existence d'effets
d'interaction entre les facteurs



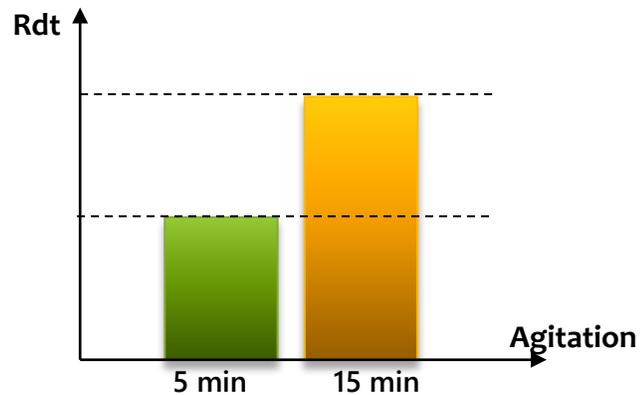
L'effet d'un facteur peut être différent selon la
valeur d'un autre facteur

Les effets des facteurs X_i et X_j sont **indépendants** si l'effet du facteur X_i **ne dépend pas** de la valeur du facteur X_j

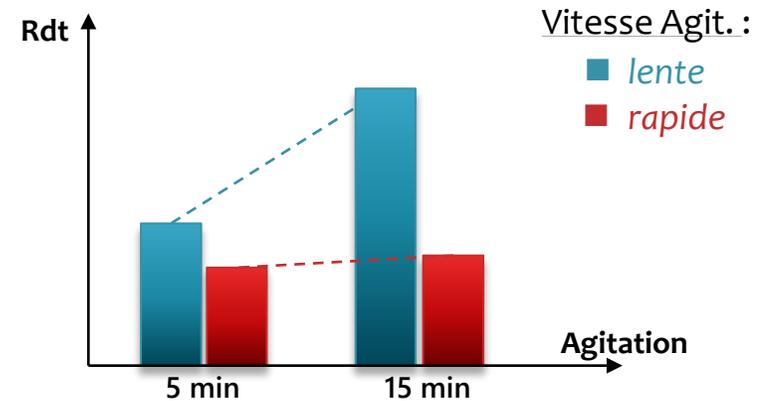


Les effets des facteurs X_i et X_j sont **dépendants** si l'effet du facteur X_i **dépend de la valeur** du facteur X_j

Screening



Interaction

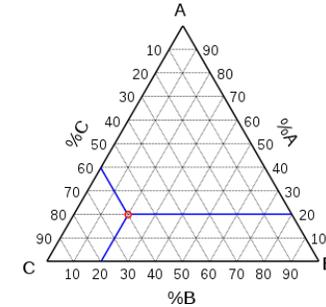


Optimisation

Procédé



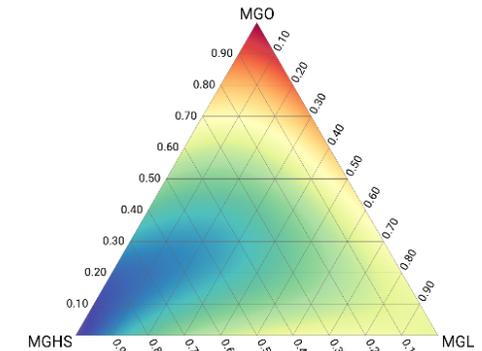
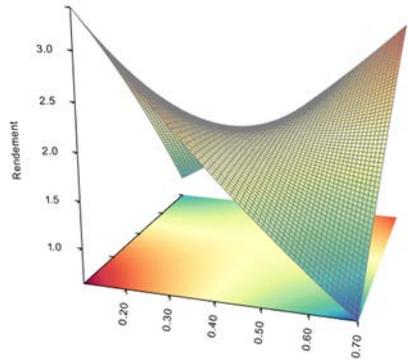
Formulation



Rechercher l'optimum d'une ou plusieurs réponses dans le domaine d'intérêt



Connaître, dans tout le domaine expérimental, la valeur des réponses expérimentales





Quel est l'objectif ?

Pouvoir estimer la valeur de la réponse expérimentale **en tout point**
du domaine experimental d'intérêt



Pour délimiter, **s'il existe**, le **domaine** où toutes les réponses expérimentales
respectent les contraintes imposées par **le cahier des charges**



Zone de compromis acceptable

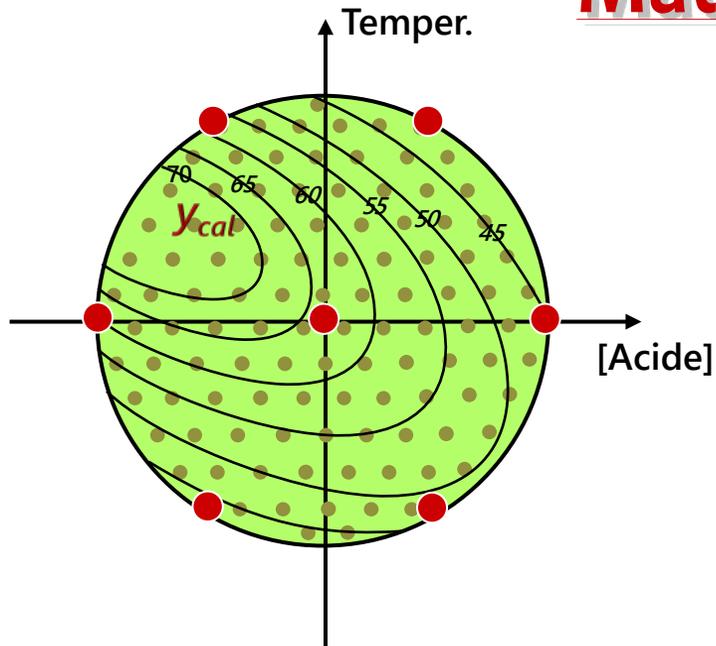
On doit faire des expériences



Celles, qui apportent l'information désirée !

"Connaître, en tout point du domaine expérimental,
la valeur de la réponse(s) expérimentale(s)"

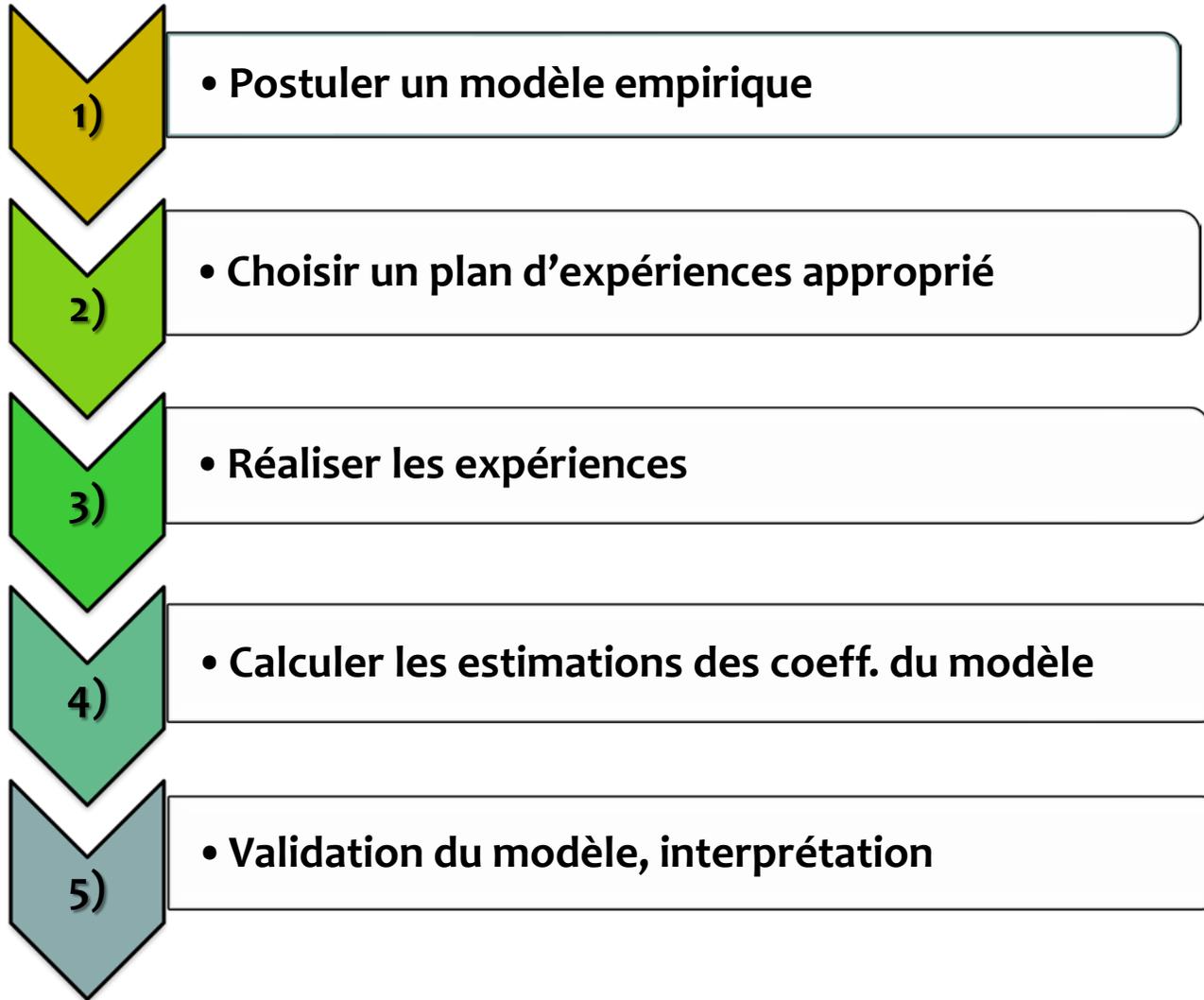
Matrice d'expériences

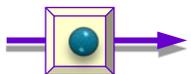


Modèle mathématique

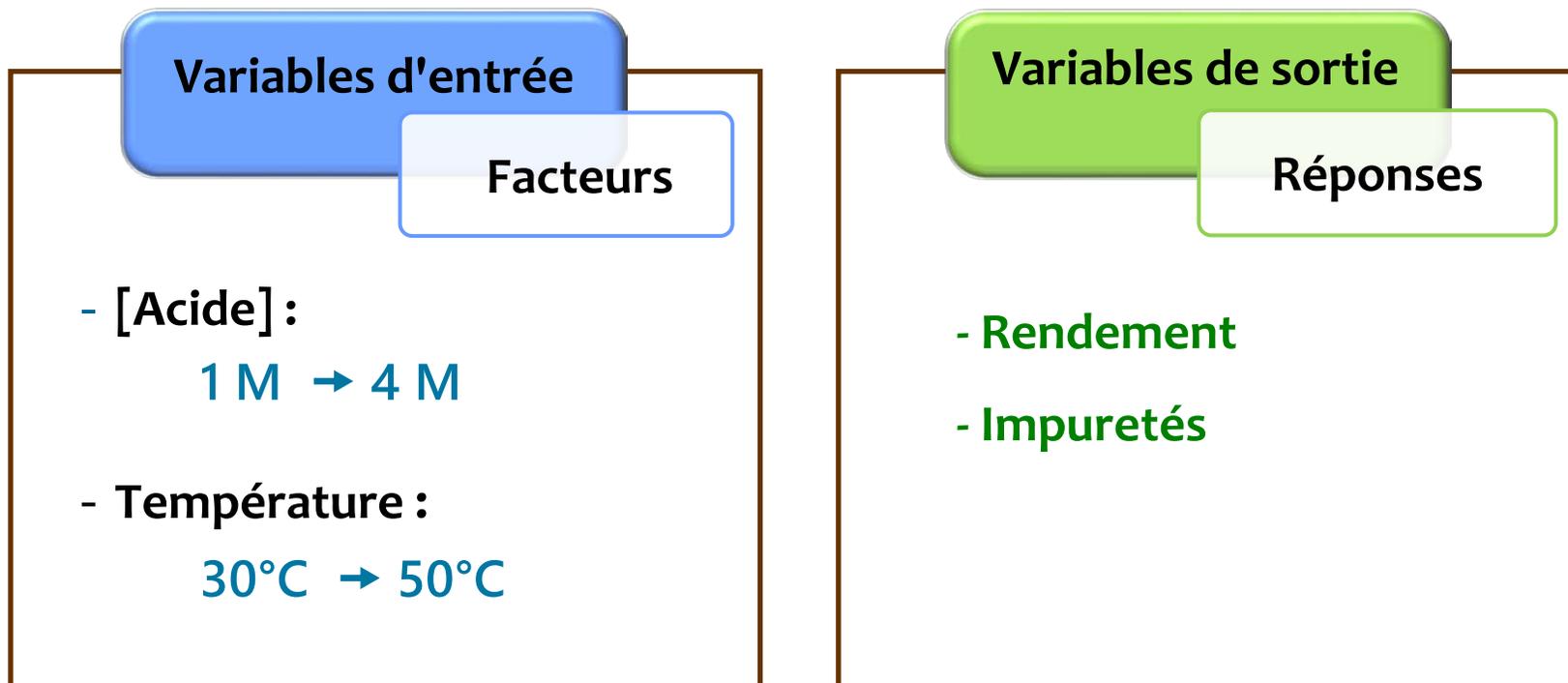
$$Y = f(X_i)$$

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + \dots$$

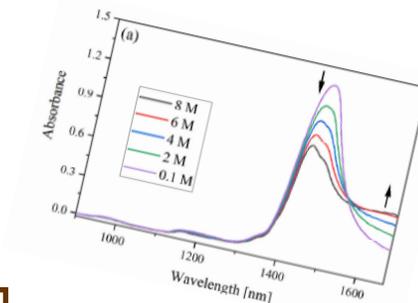




Exemple :



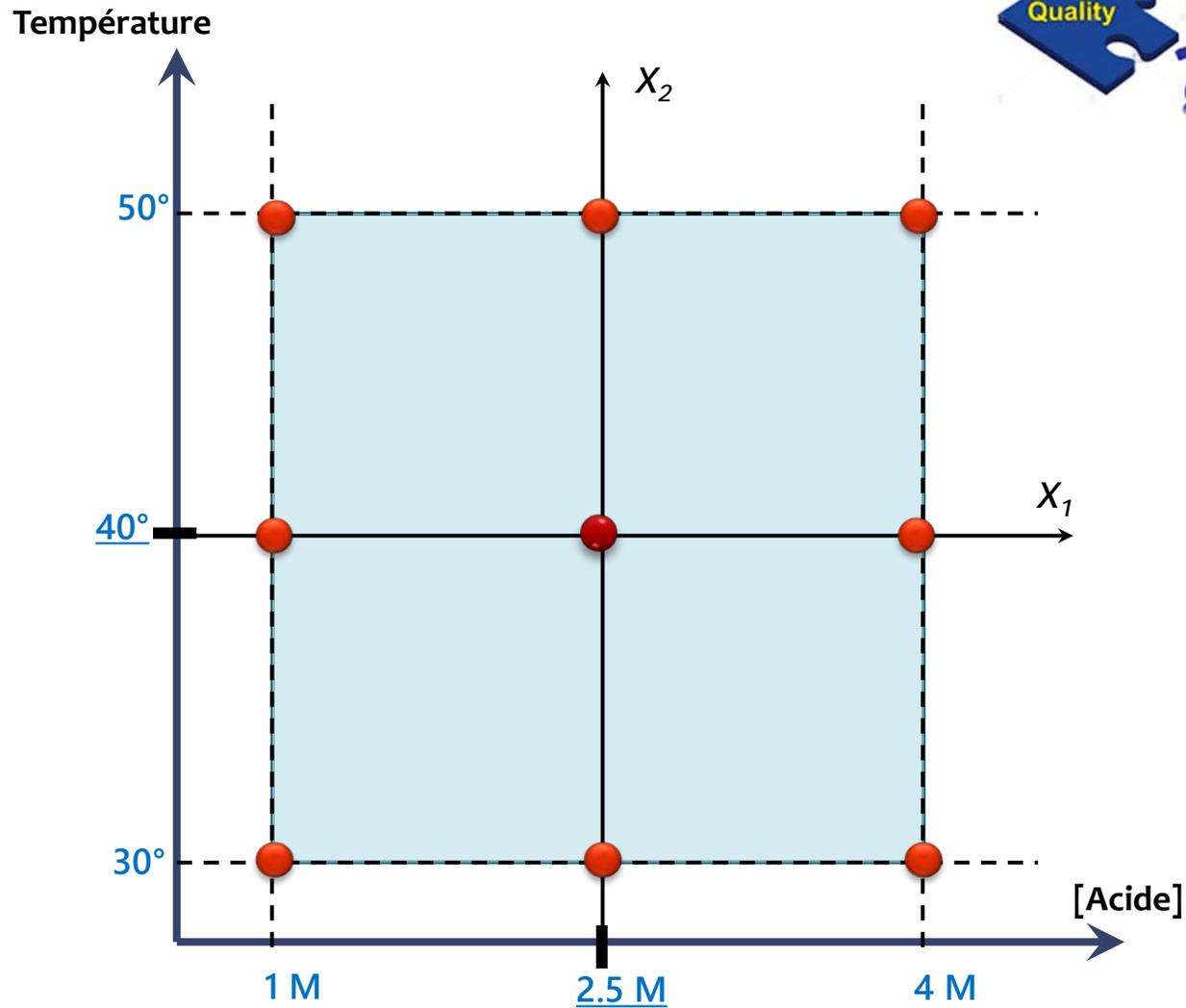
Déterminer les conditions optimales pour avoir le meilleur compromis entre les différentes réponses



Domaine Expérimental :



Plan d'expériences d'optimisation



N°	[Acide]	Tempér.
1	1	30
2	4	30
3	1	50
4	4	50
5	1	40
6	4	40
7	2.5	30
8	2.5	50
9	2.5	40
10	2.5	40
11	2.5	40

REPONSE Rendement (Y_1)

REPONSE Impuretés(Y_2)

Rendement > 60 %

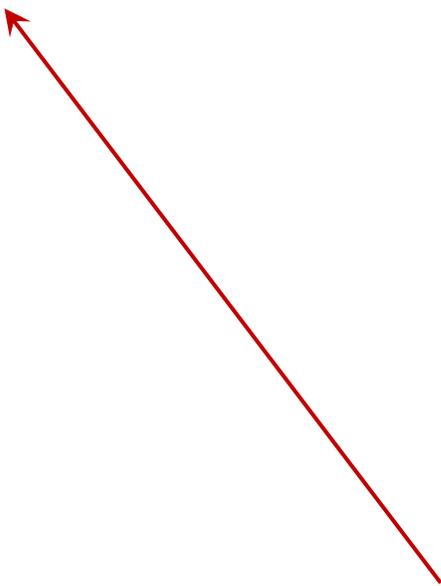
Impuretés < 2.5 %

Zone de compromis



OPTIMISATION MULTICRITERE

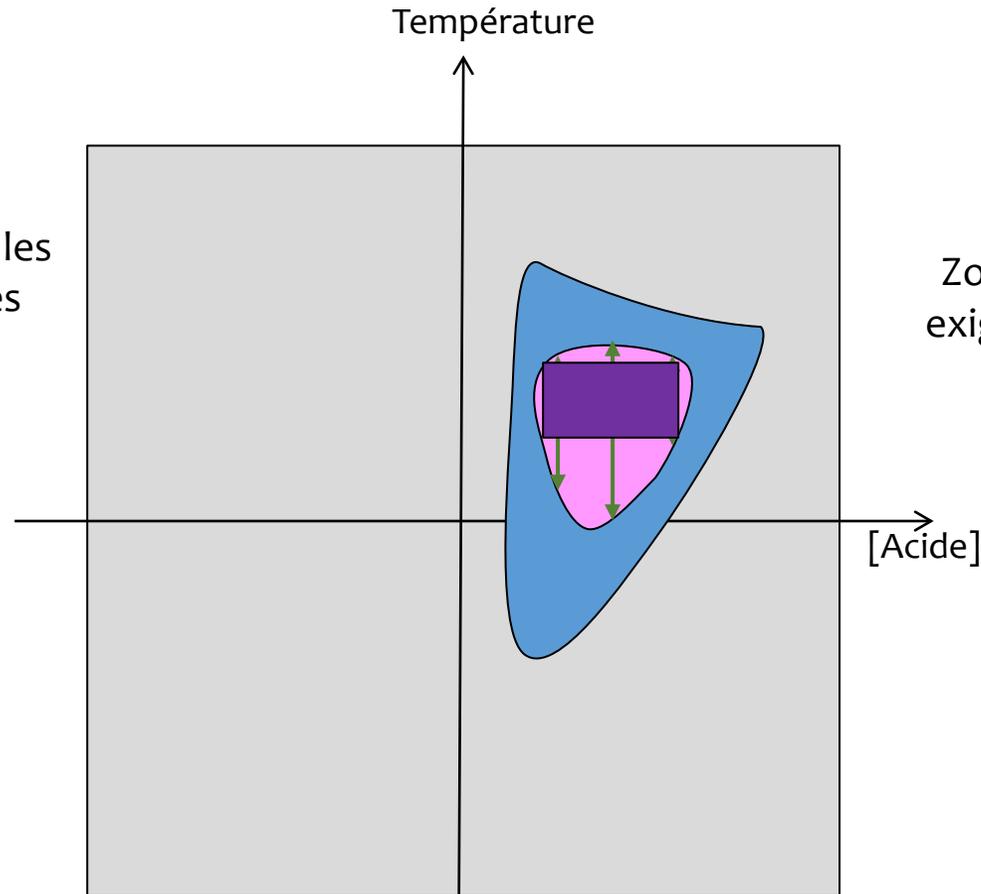
OPTIMISATION MULTICRITERE



Rendement > 60 % *et* Impuretés < 2.5 %

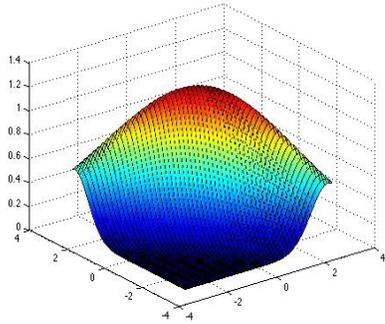
DESIGN SPACE (DS) ET PAIR

Zone de compromis
Zone dans laquelle toutes les exigences sont satisfaites



Design Space
Zone dans laquelle toutes les exigences sont satisfaites avec une **probabilité** donnée

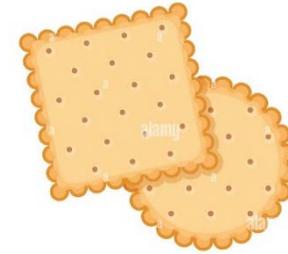
Proven Acceptable Independent Range (PAIR)
Plage de variation **indépendantes** des paramètres qui garantit la satisfaction des exigences avec une probabilité donnée



**Surfaces de réponse
cahotiques**



**Sélection de
variables**



Echantillonnage

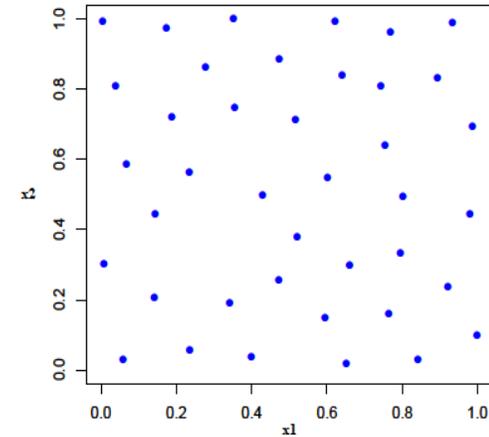
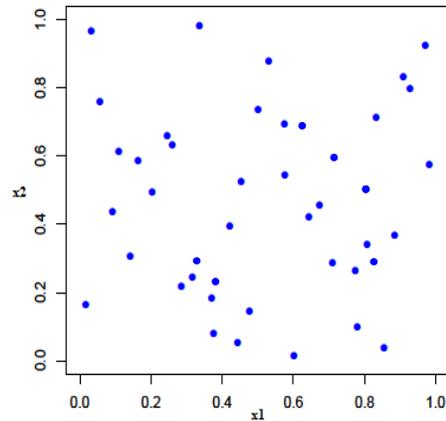
- ➔ **Grand nombre de paramètres ($k > 20$)**
- ➔ **Large domaine de variation**
- ➔ **Complexité du phénomène : surface de réponse plus cahotique**
- ➔ **Echantillonnage , choix dans un ensemble de points candidats, ...**



Plans d'expériences spécifiques

SFD : Space Filling Design

Un Space-Filling design (SFD) cherche à répartir **uniformément** les points expérimentaux dans le domaine expérimental d'intérêt



→ **Latin Hypercubes** : Random LHS, Maximin LHS, Improved LHS

→ **Suites à faible discrédance** : Halton, Hammersley, Faure, Sobol, ...

→ **Minimax designs**

→ **Algorithme WSP**

Les plans d'expériences



Des outils !!!



A quoi ça sert ?

Qu'est-ce que ça apporte ?



Un outil
pour tous !



*Et pour la
planète !*

