



73<sup>ème</sup> JTIC

8 - 9 NOVEMBRE 2023

AUXERREXPO  
AUXERRE



# Potentialisation des outils de caractérisation des farines et des pâtes par l'iconographie des corrélations

Enhanced potential of characterization tools for flours and dough using iconographic correlation



---

Conférencier / Speaker

---

LAGUERRE Jean-Claude<sup>(1)</sup> – LEBERT Lucie<sup>(3)</sup> – BOUCHAHDA Yassine<sup>(2)</sup> – SORRIN Arnaud<sup>(3)</sup> - BUCHE François<sup>(1)</sup>

Enseignant-chercheur

UniLasalle Beauvais

Unité transformation et Agro ressources ULR 7519 UniLaSalle - Université Artois





## Contexte de l'étude : Mécénat UniLaSalle - Céréalex

---

Study context : Sponsorship UniLaSalle - Céréalex

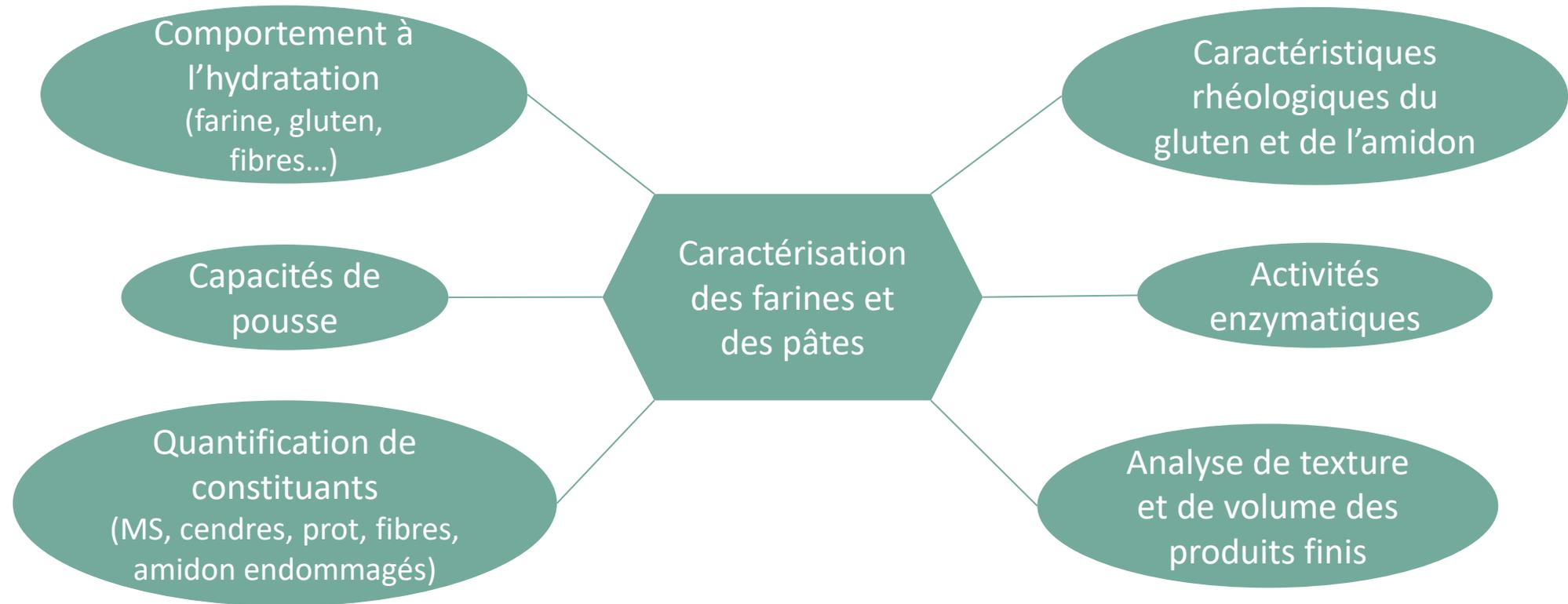


## Contexte de l'étude/ Study context

Depuis la moitié du XXème , une question reste en suspens :

**Quel sont les liens entre les propriétés biochimiques et technologiques des farines de blé et les caractéristiques des produits finis**

Pour répondre à cette question complexe, de nombreux outils et méthodes ont été développés.



## Contexte de l'étude/ Study context



Les méthodes de laboratoire **pertinentes et répétables** sont nombreuses et sont utilisées partout dans le monde par les plus grands laboratoires et industriels

**Mais...**



## Contexte de l'étude/ Study context

Malgré la fiabilité et la quantité des données collectées sur les farines et les pâtes → la prédiction des caractéristiques des produits finis **n'est pas pleinement satisfaisante**

**Le passage en test de panification reste inévitable.**

Il sert d'étape de validation de la mise en œuvre de farines et d'ingrédients



## Contexte de l'étude/ Study context

Pourquoi le test de panification reste incontournable ? Qu'en dit Chat GPT ?



**Économie de temps et de coûts** : tests rapides et moins coûteux en investissement et en ressource humaine.

**Représentativité des conditions réelles de production**

**Appréhender le processus** à chaque étape de la fabrication.



**Possibilité d'optimisation des recettes** en cours de process.

**Adaptabilité rapide aux variations des ingrédients**

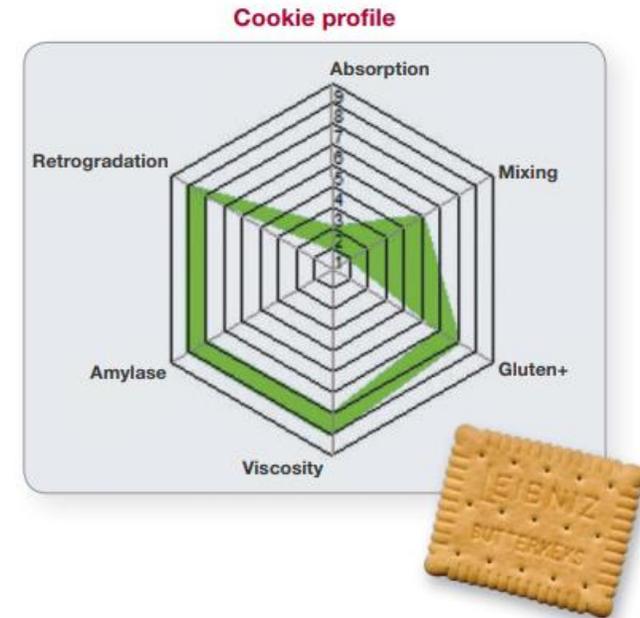


# Contexte de l'étude/ Study context

## Et du point de vue de l'utilisateur ?

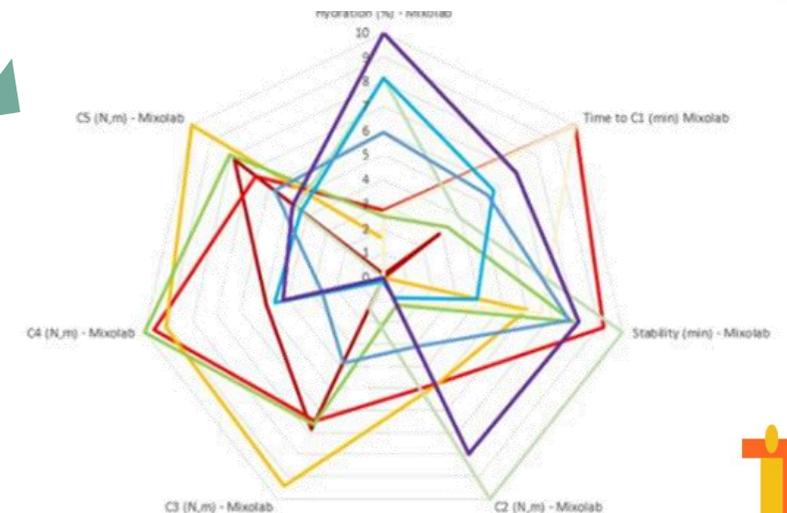
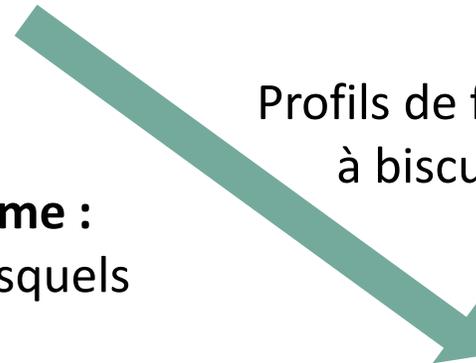
Il peut expérimenter **des écarts** entre les résultats des méthodes officielles et la mise en œuvre en situation réelle

Profil théorique idéal



L'utilisateur peut se poser une question légitime : "Sur l'ensemble des indicateurs qui existent lesquels impactent directement mon process ?"

Profils de farines à biscuits



Comment corréler les outils de laboratoire et la production ?



## Contexte de l'étude/ Study context

L'utilisation des **plans d'expériences** peut répondre à cette question en proposant des modèles qui pourront :

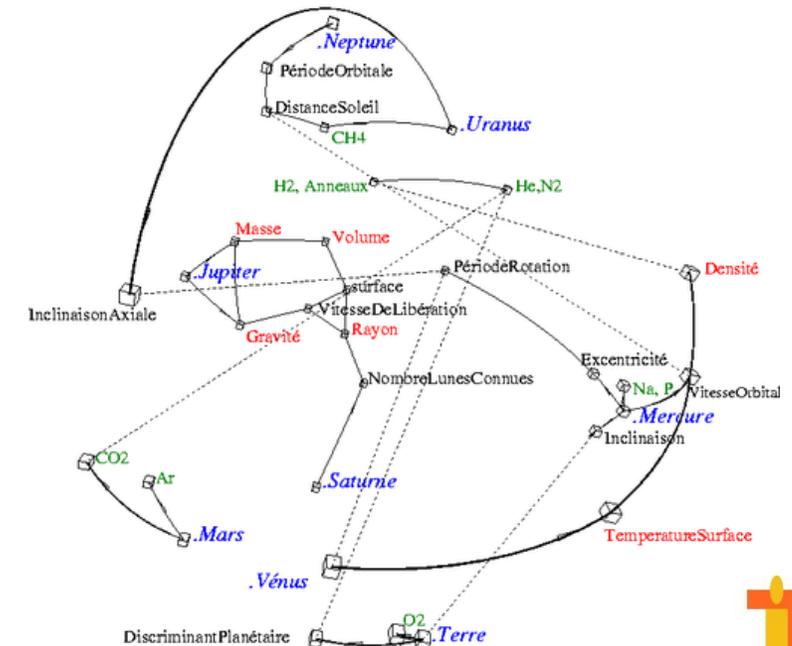
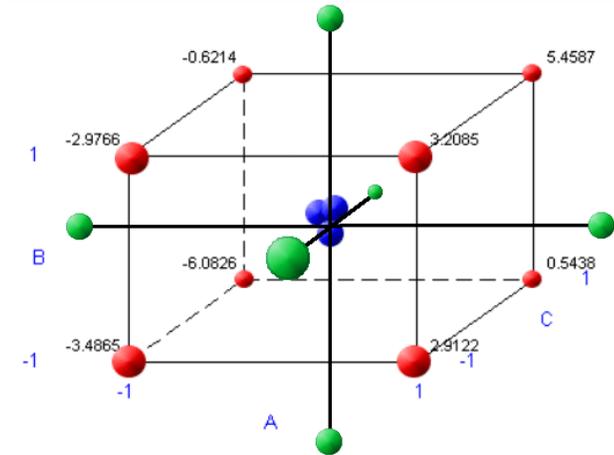
- **Corréler** des caractéristiques des farines et produits finis
- **Optimiser** les réponses souhaitées

**MAIS** il y a des contraintes :

- Besoin de nombreux essais,
- Conditions d'essais prédéfinies strictes,
- Difficulté à mobiliser les ressources matérielles et RH nécessaires
- Impossibilité de combiner informations quantitatives et qualitatives

Cependant d'autres méthodes existent

→ dont celle des **corrélations iconographiques (CORICO)**



## Contexte de l'étude/ Study context

### C'est quoi un plan d'expériences ?

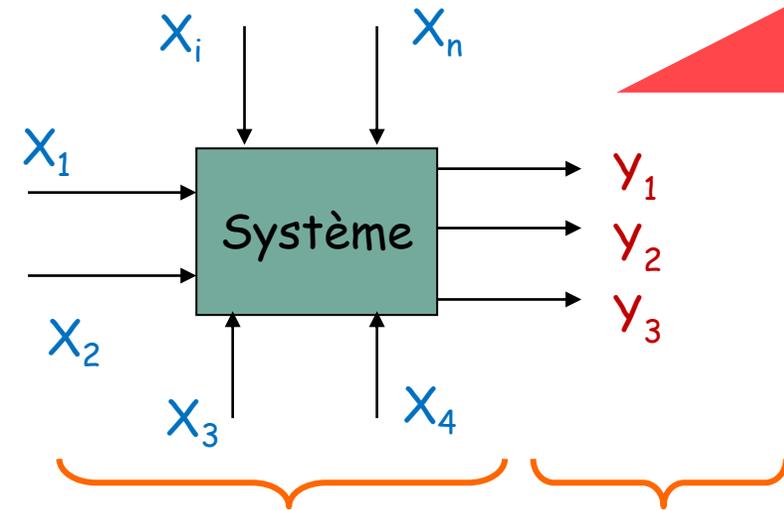
C'est un plan d'organisation particulière des expériences permettant de **minimiser le nombre d'essais** à réaliser pour connaître le **comportement d'un système** (réponses) en fonction de la variation de ses **variables d'entrée** (facteurs).

Il permet de **quantifier l'impact (effet)** des facteurs sur les réponses étudiées mais surtout d'établir un **modèle** reliant chacune de ces réponses à une combinaison des facteurs :

$$Y_1 = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Ces modèles peuvent être utilisés pour

- **Simuler**
- **optimiser le système**, i.e. trouver les valeurs optimales des facteurs permettant d'obtenir des conditions souhaitées pour les réponses



#### Variables d'entrées (ou facteurs - $X_i$ )

- Température four
- Durée de cuisson
- Hydratation de la farine
- Taux de protéines
- Durée de pétrissage

#### Variables de sorties (ou réponses - $Y_i$ )

- Couleur
- Texture
- Masse volumique

#### Plan complet à 2 facteurs

Essai	Température four	Durée de cuisson	Y1
1	-1	-1	10
2	1	-1	8,5
3	-1	1	5
4	1	1	11

Niveau	Température four	Durée de cuisson
-1	170°C	30 min
1	200°C	45 min



# Contexte de l'étude/ Study context

## Qu'est-ce que CORICO ?

CORICO ou **COR**rélations **ICO**nographiques est une méthode d'analyse de données développée par un français, Michel LESTY, dans les années 70 pour traiter une très grande quantité de données (LESTY, 2023)

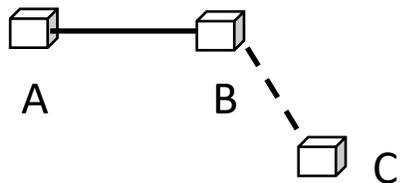
L'iconographie des corrélations est une **analyse géométrique** et non probabiliste des données.

Consiste à remplacer une matrice de corrélations entre variables par un schéma où les corrélations dites « **remarquables** » sont représentées par

- un **trait plein** ( => **corrélation positive**),
- un **trait pointillé** ( => **corrélation négative**)

CORICO représente l'ensemble des liens « **remarquables** » sur une sphère (= **schéma CORICO**). Un lien est considéré remarquable si

- les coefficients de corrélation (total et partiels) sont significatifs
- le lien est non « **redondant** »

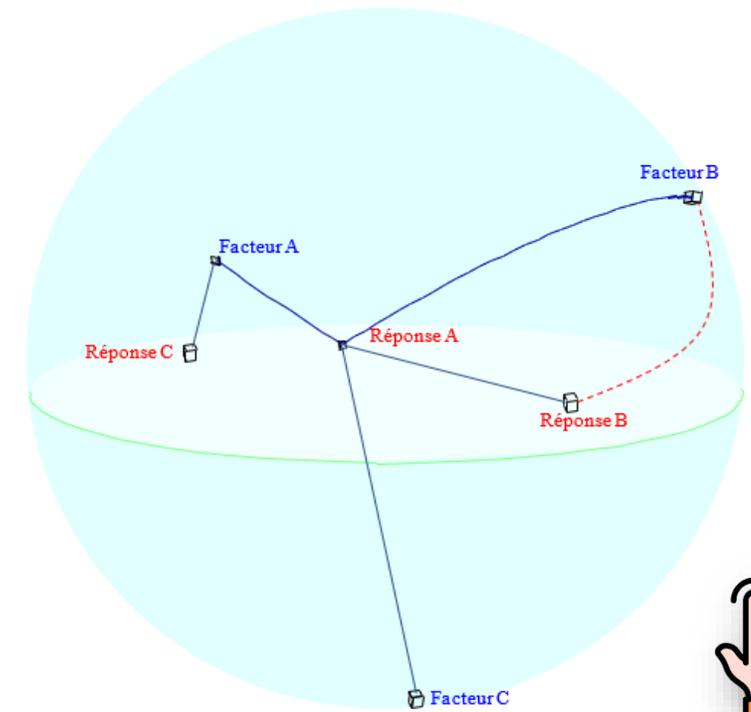


**Notion de liens redondants (ou faux liens) ?**

Carte de l'étude Cindy constant  
Mise en évidence de liens remarquables  
Matrice des liens pour corrélations simples effectuée par les élèves de l'UJF de Grenoble

	Facteur	Réponse
élève 1	10	10
élève 2	10	10
élève 3	10	10
élève 4	10	10
élève 5	10	10
élève 6	10	10
élève 7	10	10
élève 8	10	10
élève 9	10	10
élève 10	10	10

Graphique illustrant la relation entre l'âge et le poids.



**Schéma CORICO pour 6 variables (3 facteurs, 3 réponses)**



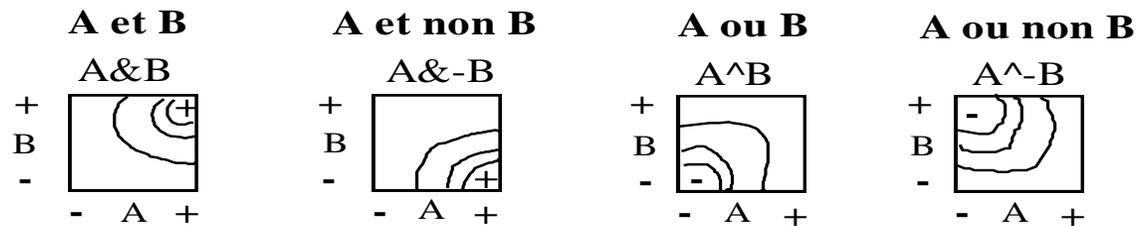
## Contexte de l'étude/ Study context

Comme pour l'analyse classique d'un plan d'expériences, CORICO permet de construire des modèles reliant les réponses aux facteurs du plan.

### Modèle quadratique pour 2 facteurs

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{12} x_1 x_2 + a_{11} x_1^2 + a_{22} x_2^2$$

Mais contrairement à cette dernière qui propose un modèle basé sur une **forme générique** (forme quadratique) quelle que soit la réponse, CORICO crée un **modèle ad hoc** pour chaque réponse en utilisant des interactions logiques entre les facteurs.



Quelques interactions logiques utilisées par CORICO

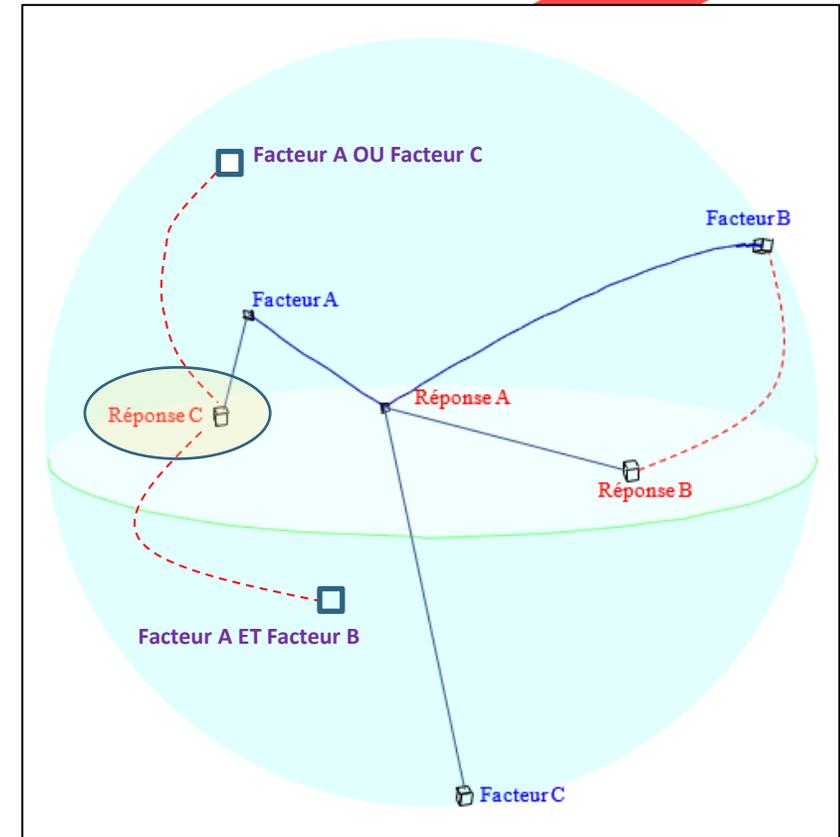


Schéma CORICO avec interactions logiques entre les facteurs

La souplesse et la plasticité permises par l'utilisation des interactions logiques permet à CORICO de proposer des modèles sensiblement **plus puissants et précis** que ceux obtenus par l'approche classique.

Exemple de modèle CORICO



$$y_C = a_0 + a_1 X_A - a_2 X_A \wedge X_C - a_3 X_A \& X_B$$

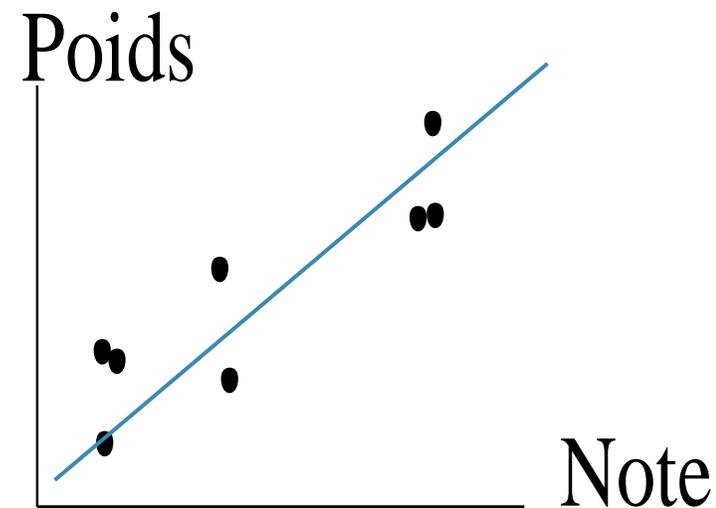


## Contexte de l'étude/ Study context

### Mise en évidence de liens redondants

Relevé de note pour une même épreuve effectuée par des élèves du CM2 à la terminale

	Poids	Note	Age
Élève 1	52	5	12
Élève 2	59	5	12,5
Élève 3	55	9	13
Élève 4	58	5	14,5
Élève 5	66	13,5	15,5
Élève 6	62	18	16
Élève 7	63	18	17
Élève 8	69	18	18



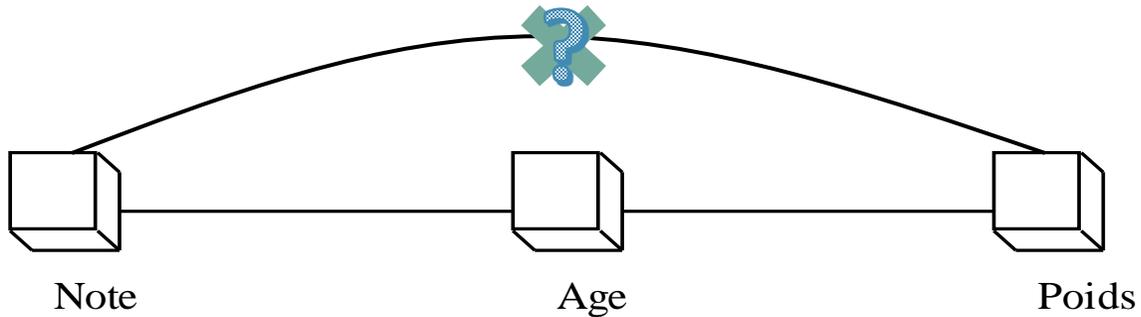
L'analyse classique de ce tableau de données fait apparaître une forte corrélation entre la note et le poids des élèves.

Est-ce à dire qu'il suffit de faire manger les élèves pour avoir des meilleures notes ?



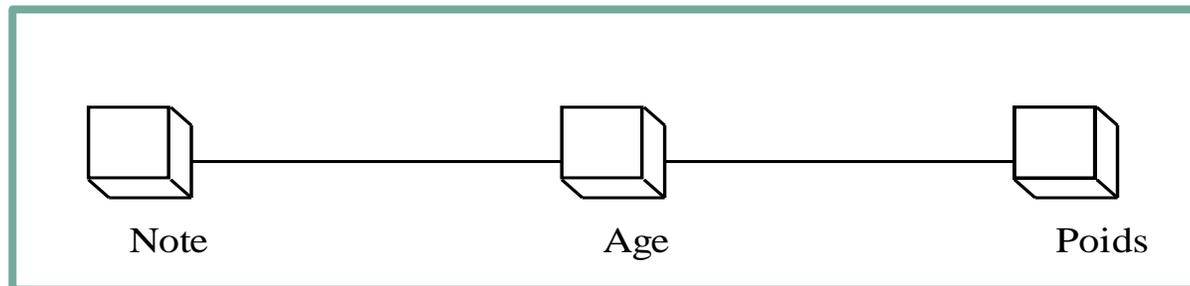
## Contexte de l'étude/ Study context

### Résultats de l'analyse du tableau par CORICO



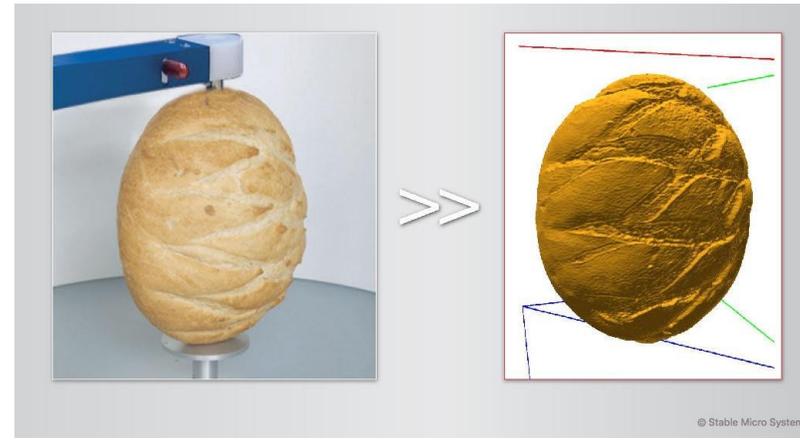
Analyse classique (-> 3 liens)

- Le lien entre poids et note est redondant.
- Il découle des deux autres.



Analyse CORICO (-> 2 liens)





## Démarche de l'étude

---

Study approach



# Démarche de l'étude/ Study approach

## Objectif de l'étude :

Etudier les corrélations entre les propriétés de farines testées à l'aide du Glutopeak et les caractéristiques de pains de mie produits à l'échelle artisanale

## Facteurs étudiés dans un plan type Box Benkhen:

- **Farine de base** (sans améliorant) et/ou **farine riche en protéines** (0 à 100 %) à masse totale constante
- **Farine riche en fibres** 9,2 %. Masse de 0 à 25 % du total de farine
- **Hydratation variable** : 60 g d'eau pour 100 g de mélange de farines +/- 3 g

## Réponses collectées :

- ✓ **Volumétrie** avec Volscan (Volume, Masse volumique et hauteur maximale)
- ✓ **Texture** de tranches au Texturomètre (fermeté de la mie à J0 et J+2, élasticité à J0 et J+2)
- ✓ **Qualité du réseau de polymères** avec Glutopeak (prise de consistance du réseau après hydratation)

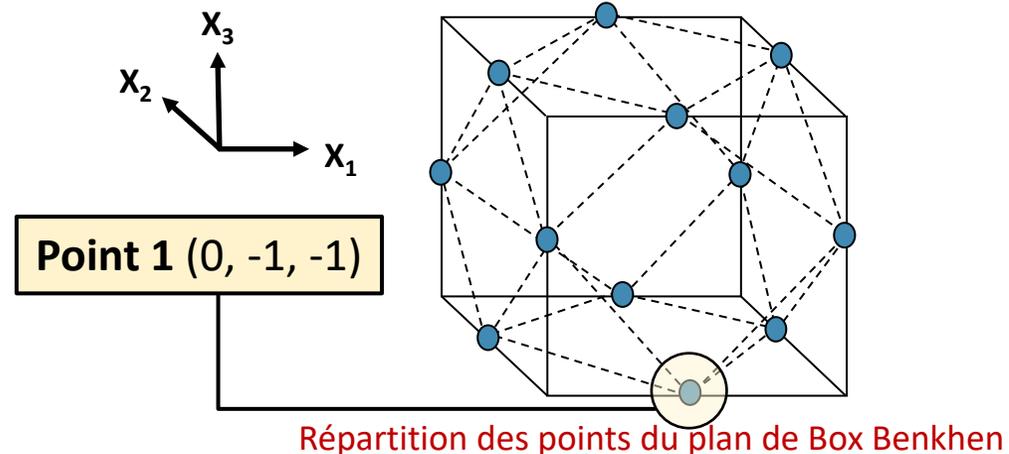


# Démarche de l'étude/ Study approach

## Réalisation d'un plan pour surface de réponses (plan de Box Benkhen)

### Entrées (facteurs)

- Taux d'hydratation
- Farine fibres
- Farine protéines



### Sorties (réponses)

#### 1 - Réponses sur farine (11 réponses)

- Glutopeak
- Alvéographe
- Mixolab



#### 2 - Réponses sur pâte préalablement pétrie (10 réponses)

- Alvéographe
- Mixolab



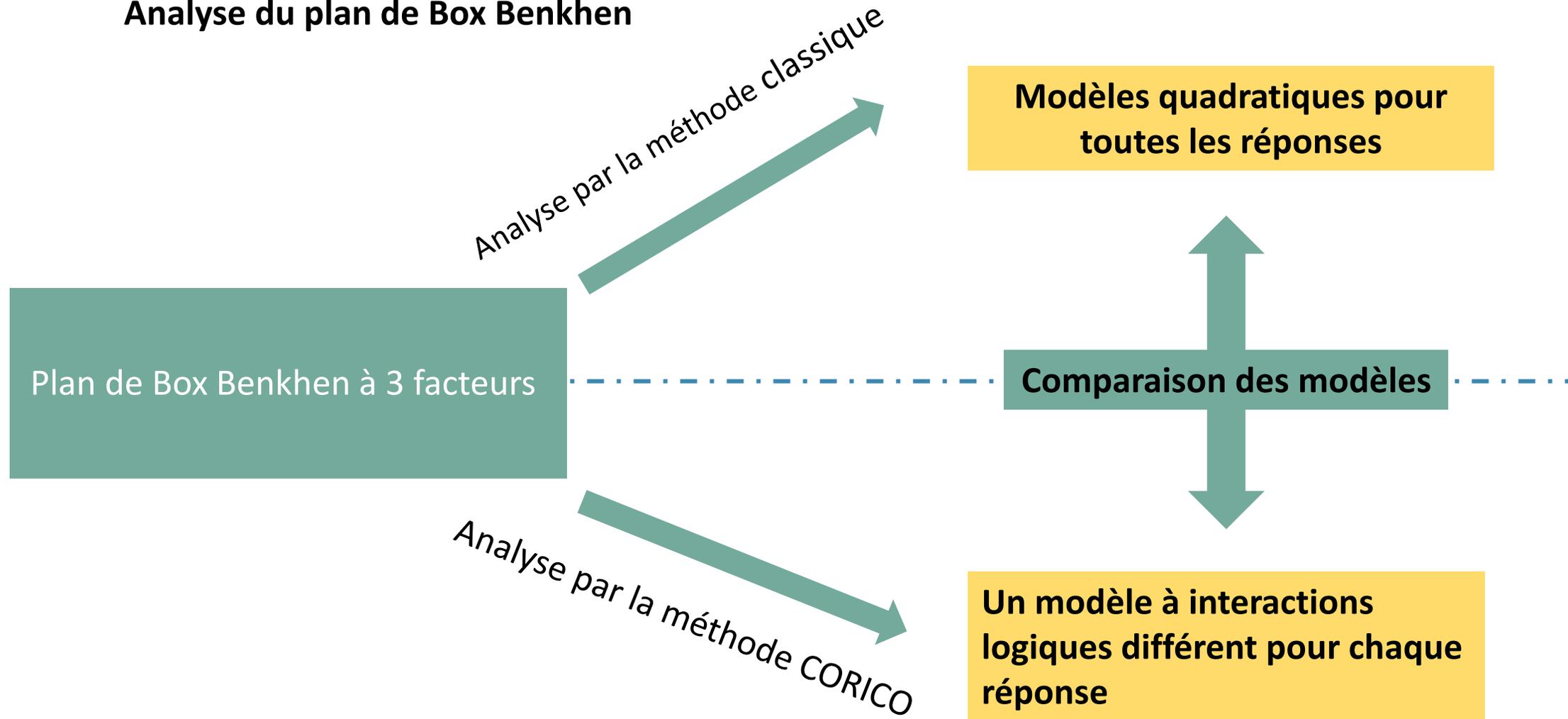
#### 3 - Réponses sur pain de mie (10 réponses)

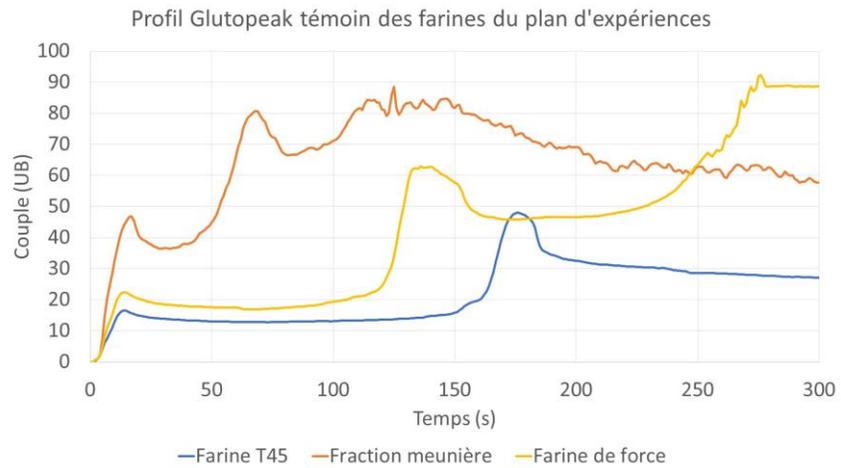
- Volscan
- Texturomètre



# Démarche de l'étude/ Study approach

## Analyse du plan de Box Benkhen





## Résultats de l'étude

### Study results



# Résultats de l'étude/ Study results

## Résultats du plan d'expériences

### Réponse farine

### Réponses pain de mie



Essai	Taux Hydratation (%)	Farine fibres (%)	Farine protéines (%)	ForceRéseau Glutopeak	Volume (cm3)	Masse Vol (g/cm3)	Hauteur max (cm)	Fermeté (à J0) (N)	Elasticité (à J0)	Evolution Fermeté (J+2/J0)	Perte Elasticité (à J+2)
1	57	0	50	42,967	792,4	329,4	87,9	607,144	95,05	2,699	-5,682
2	63	0	50	36,467	925,2	262,7	99,9	378,365	97,494	3,877	-6,993
3	57	25	50	43,233	824,8	314,6	93,3	692,925	94,393	2,290	-7,369
4	63	25	50	38,867	913,3	274,1	96,7	496,011	95,327	3,116	-6,162
5	60	10	50	41,167	860,8	300,6	93,4	540,406	94,806	2,588	-5,698
6	57	10	0	40,467	987,8	257,0	98,9	363,385	95,27	4,101	-7,335
7	63	10	0	33,200	987,2	260,6	103,5	432,821	95,616	3,036	-5,364
8	57	10	100	42,933	710,0	375,6	82,7	1187,743	92,24	1,447	-3,976
9	63	10	100	39,867	892,6	282,8	93,3	515,186	96,154	3,009	-5,891
10	60	10	50	40,733	853,7	297,3	90,2	535,944	95,831	2,857	-8,032
11	60	0	0	34,533	1060,5	232,6	107	289,556	96,273	3,117	-4,99
12	60	25	0	37,400	1064,1	238,1	109	387,133	96,109	2,971	-7,307
13	60	0	100	43,233	804,6	316,9	87,2	492,024	95,973	3,246	-5,789
14	60	25	100	42,833	860,2	293,5	89,4	593,697	95,287	2,891	-6,796
15	60	10	50	39,967	845,3	298,6	90,6	534,29	95,565	2,119	-4,628



## Résultats de l'étude/ Study results

### Comparaison de la qualité des modèles CORICO et modèles du 2<sup>ème</sup> degré (approche classique)

Un modèle est valide et utilisable si le coefficient de Fischer **F est supérieur au F critique** ( $F > F_{cr}$ )  
Et sa qualité est d'autant meilleure que **R2aj est proche de 1** et **F élevé** comparativement à  $F_{cr}$

Modèles CORICO (par iconographie des corrélations)					Modèles quadratiques (par analyse classique)			
Réponse	Nb régresseurs	R2aj	F	Fcr	Nb régresseurs	R2aj	F	Fcr
Volume	8	0,990	179	4,15	10	0,97	52,29	4,77
Masse volumique	5	0,966	80,55	3,48		0,989	147,4	
Hauteur max	5	0,985	186,8	3,48		0,903	15,458	
Fermeté à J0	9	0,99	1331	4,77		0,84	9,15	
Elasticité à J0	6	0,859	21,28	3,58		0,526	6,89	
EvolutionFermeté à J+2	8	0,878	13,58	4,15		0,557	1,55	
PerteElasticité à J+2	4	0,403	3,368	3,48		-0,216	0,724	

➔ **9 modèles sur 10** valides pour CORICO contre seulement **6/10** pour l'approche classique (3 réponses non présentées ici)

➔ Qualité des modèles



# Résultats de l'étude/ Study results

## Modèles CORICO avec intégration d'une réponse comme facteur

CORICO considère toutes les variables de façon symétrique

Il peut construire un modèle qui intègre une ou plusieurs réponses comme facteurs.

Cette possibilité est utilisée pour construire des modèles pour les différentes réponses intégrant la réponse donnée par le Glutopeak comme un facteur supplémentaire

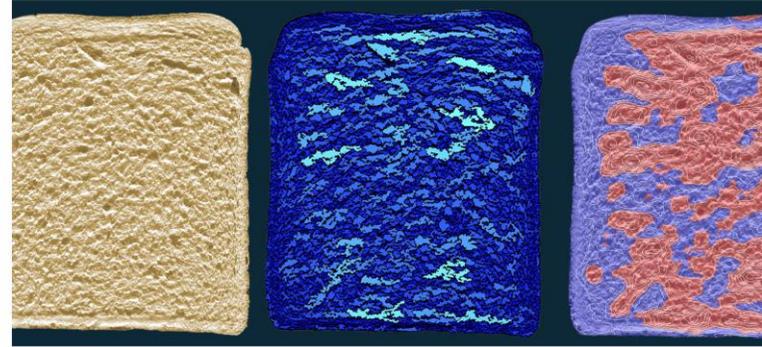
Résultats de l'étude/ Study results  
Résultats du plan d'expériences

Essai	Temps Fermeture (h)	Ferme Max (%)	Ferme Evolutive (%)	Réponse farine		Réponses pain de mie		Elasticité (J+2)	Perte Elasticité (J+2)		
				FermeMax Glutopeak	Volume (cm3)	Masse Vol (g/cm3)	Hauteur max (mm)			Fermeté (J0)	Elasticité (J0)
1	0	0	30	43,262	279,4	208,8	87,8	181,334	8,05	2,698	-5,852
2	0	0	30	50,467	325,1	252,7	95,9	178,385	57,054	1,977	-6,381
3	0	25	30	43,223	324,8	244,6	91,3	182,707	34,393	2,290	-2,360
4	0	25	30	50,807	315,1	274,0	96,2	176,911	39,107	1,118	-6,362
5	0	50	30	43,357	300,8	200,6	91,8	148,496	34,806	2,588	-5,698
6	0	50	30	50,482	307,8	210,0	94,9	161,495	39,27	4,381	-2,303
7	0	75	30	33,200	387,2	280,6	103,5	132,811	39,536	1,036	-5,364
8	0	75	30	41,013	378,0	275,6	97,2	138,768	31,8	1,467	-5,076
9	0	100	30	39,867	385,0	282,8	93,3	153,589	36,534	1,009	-5,891
10	0	100	30	45,719	385,7	275,5	95,3	155,864	39,851	1,867	-6,013
11	0	0	0	34,113	300,5	212,6	107	189,234	39,272	1,117	-4,93
12	0	25	0	32,489	304,1	208,1	109	181,111	36,08	2,011	-2,807
13	0	0	100	43,233	404,0	316,9	87,2	140,034	39,977	1,246	-5,789
14	0	25	100	41,811	380,1	293,5	89,6	151,697	39,287	2,499	-6,706
15	0	0	100	50,782	401,1	288,6	90,6	156,02	39,165	1,118	-4,028

## Qualité des modèles intégrant la réponse du Glutopeak

Modèles CORICO avec Force réseau Glutopeak			
Réponse	R2aj	F	Fcr
Volume	0,987	154,7	3,79
Masse volumique	0,924	43,45	3,48
Hauteur max	0,953	57,5	3,48
Fermeté à J0	0,901	19,22	3,79
Elasticité à J0	0,853	28,03	3,59
Evolution Fermeté (J0/J+2)	0,934	23,21	4,77
Perte Elasticité à J+2	0,731	7,353	3,58





## Conclusions

---

## Conclusions



## Conclusion/ Conclusion

L'iconographie des corrélations (méthode CORICO) est une méthode qui permet de relier efficacement les caractéristiques d'un pain de mie avec :

- la composition
- les caractéristiques de la farine utilisée.

Elle permet d'obtenir des modèles de meilleure qualité que ceux obtenus par une approche classique. Le tableau ci-dessous permet de comparer les 2 approches

### Résumé des principales différences entre les 2 méthodes

Iconographie des corrélations (modèle CORICO)	Approche classique (modèle quadratique)
Aucune condition sur les facteurs	Les facteurs doivent être indépendants
Peut traiter n'importe quel jeu de données même non organisé sous forme de plan d'expériences	l'organisation sous forme de plan d'expériences doit être respectée
Le modèle proposé s'adapte à chaune des réponses du plan -> modèle <i>a posteriori</i>	le modèle est quadratique quelque soit la réponse -> modèle <i>a priori</i>
Propose des plans spécifiques adaptés à CORICO qui autorise la réalisation d'un plan avec de nombreux facteurs sans exiger un nombre d'essais rhédibitoire	Le nombre d'essais augmente considérablement avec le nombre de facteur
Autorise tout type de modèle : Réponse = f(Facteurs) ; Réponse=f(Facteurs, Réponses) ; Réponse = f(Réponses)	Un seul type de modélisation possible : Réponse = f(Facteurs)



Merci de votre attention !  
Thank you for your attention !

[Jean-claude.laguerre@unilsalle.fr](mailto:Jean-claude.laguerre@unilsalle.fr)

[ybouchahda@cerealesexperts.fr](mailto:ybouchahda@cerealesexperts.fr)

