

# Optimisation de formulation dans une brasserie industrielle par les plans de mélange

Contexte: Brasserie industrielle. Développement d'une nouvelle formule de bière et du processus de fermentation associé pour améliorer le goût et l'amertume d'une nouvelle bière.

Essais réalisés sur les procédés d'houblonnage et de fermentation.

Optimisation d'une formule à la base d'houblon et de 2 différentes épices.

Optimisation par rapport au goût (noté sur une échelle de 0 à 10) et du coût de fabrication.

- Questions:
- Comment définir au mieux ma formule?
  - Quels réglages de procédés sont le mieux adaptés à ma nouvelle formulation?
  - Comment optimiser en même temps ma formulation et mon procédé?
  - Comment réduire au maximum mon nombre d'essais de formulation et malgré tout en tirer le maximum d'informations?
  - Comment optimiser en même temps mon goût et respecter mon objectif de coût?



Outils et méthodes utilisés:

- Plan de mélange
- Plan de mélange avec variables procédés
- Optimisation multi-réponse

# Construction du plan de mélange avec variables de procédés

## - Facteurs étudiés

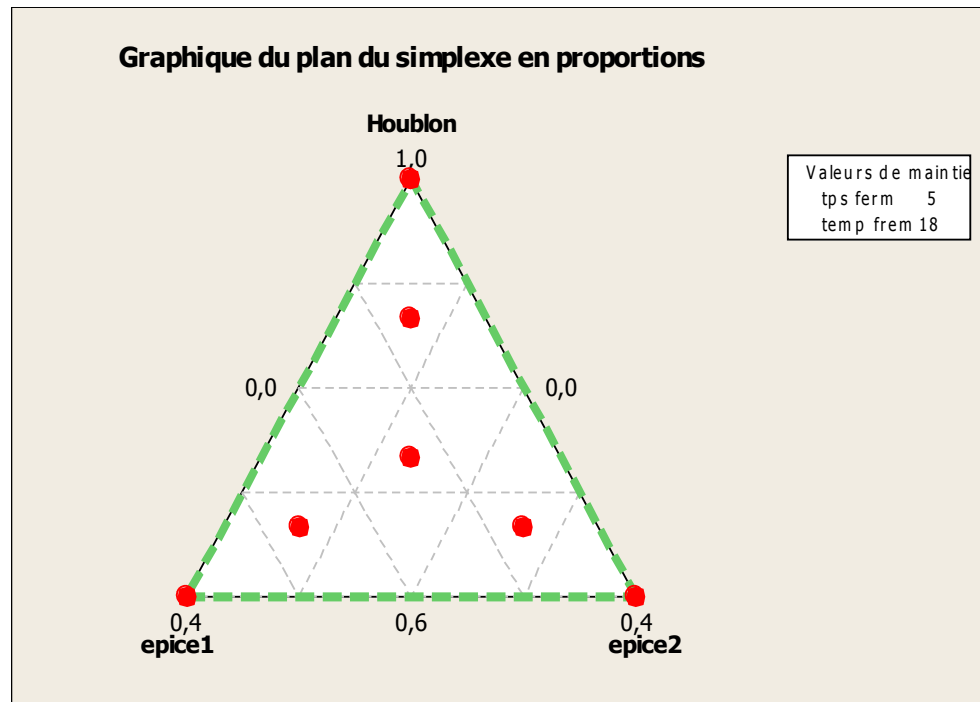
Ingrédients pour la formulation

Ingrédients	Limite inf	Limite Sup
Houblon	0,6	-
Epice 1	-	-
Epice 2	-	-

Variables de procédé (fermentation)

Variables process	Niveau bas	Niveau haut
Température de fermentation	18	24
Temps de fermentation	5	11

**Plan de mélange sommets extrêmes avec accroissement et variables de procédés**



## - Extrait de la matrice d'essai

Houblon	epice1	epice2	tps ferm	temp frem	Note	Coût
0,6	0	0,4	5	18	5	21,9
1	0	0	5	18	2	18,3
0,6	0,4	0	5	18	4	19,9
0,73	0,13	0,13	5	18	4,5	20,03
0,67	0,07	0,27	5	18	5,5	20,97
0,87	0,07	0,07	5	18	4	19,17
0,67	0,27	0,07	5	18	4	19,97
0,6	0	0,4	11	18	5	27,3
1	0	0	11	18	4,5	23,7
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

# Analyse des résultats

## - Analyse des résultats

### Régression pour mélanges : Note en fonction de Houblon; epice1; ...

Coefficients de régression estimés pour Note (pseudo-composantes)

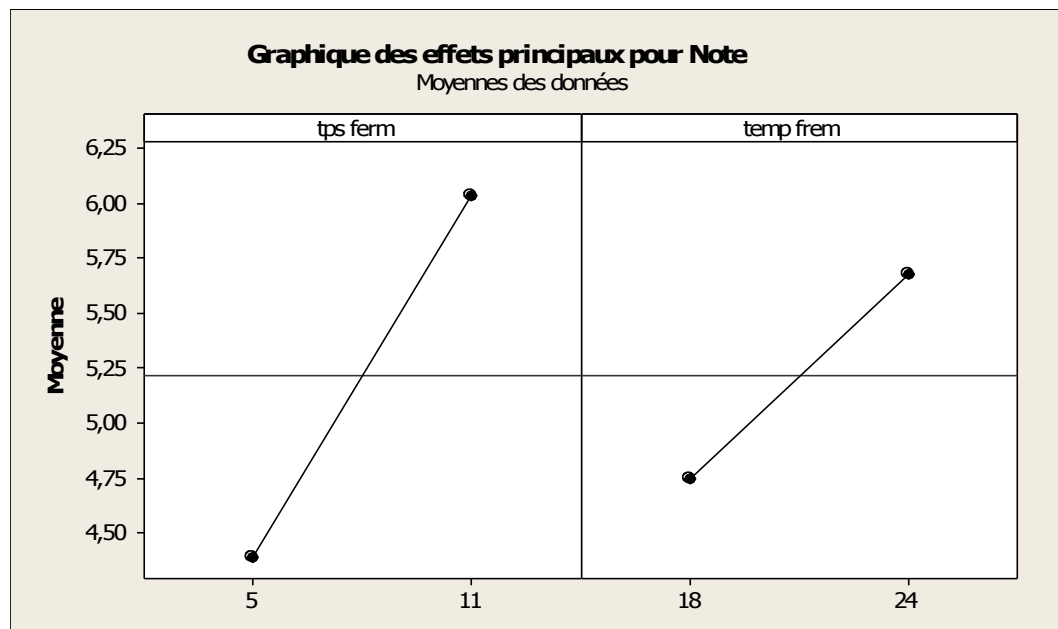
Terme	Coeff	Coef ErT	T	P	Facteurs contribuant à l'augmentation de la variance
Houblon	3,245	0,2285	*	*	1,436
epice1	5,089	0,2019	*	*	1,166
epice2	5,945	0,2285	*	*	1,436
Houblon*epice2	8,810	1,7910	4,92	0,000	2,071
Houblon*tps ferm	1,263	0,1956	6,46	0,000	1,053
epice1*tps ferm	1,113	0,1956	5,69	0,000	1,053
epice2*temp frem	1,332	0,1906	6,99	0,000	1,000

S = 0,483958

R carré = 92,16 % R carré (ajust) = 89,92 %

Résultat:

- L'effet des 2 épices sur le goût est plus important que le houblon (coeff plus fort)
- Le mélange du houblon avec l'épice 2 améliore notablement la note de goût
- le temps et la température de fermentation ont un effet différent en fonction des ingrédients

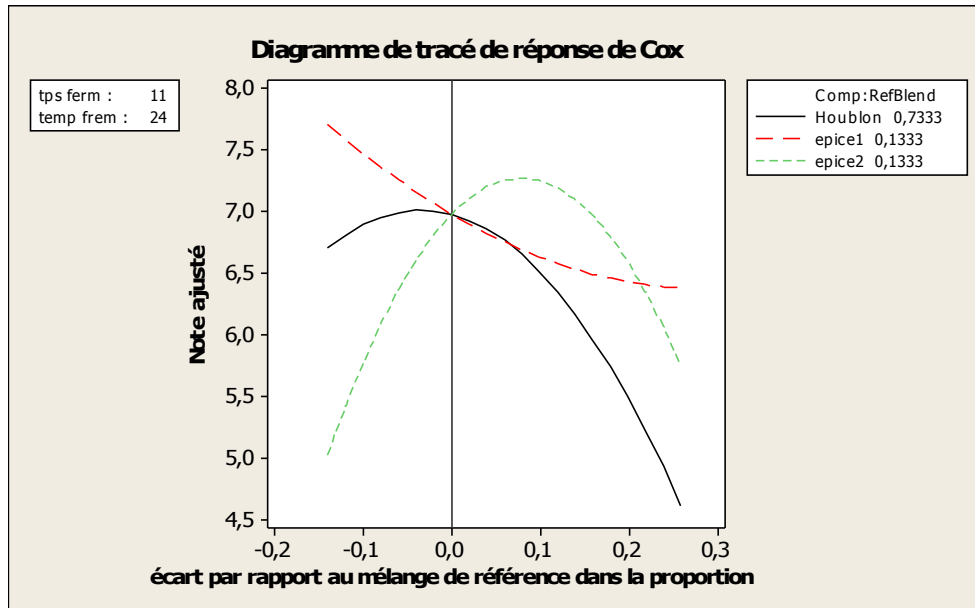


Résultat:

- De manière générale l'augmentation du temps et de la température de fermentation améliore le goût.
- L'effet du temps est plus important que l'effet de la température sur le goût (sur les plages étudiées).
- Augmenter de 6 jours le temps de fermentation améliore le goût de quasiment 2 points.

# Analyse des résultats

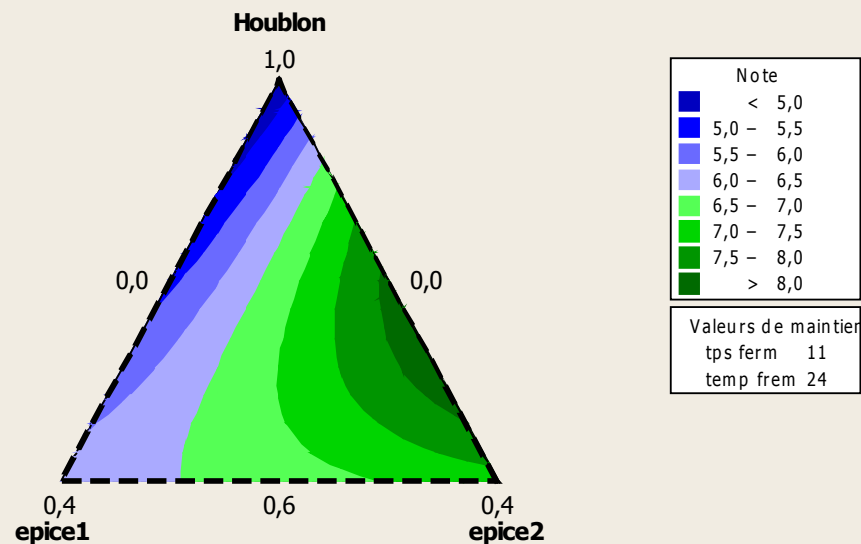
## - Analyse des résultats



Résultat:

- Le diagramme montre qu'en augmentant la quantité d'épice2 (courbe verte) par rapport au dosage dit de « référence », on augmente la note de goût.
- Rq: le mélange de « référence » est le barycentre du triangle

**Graphique de contour de mélange de Note**  
(quantités de composantes)

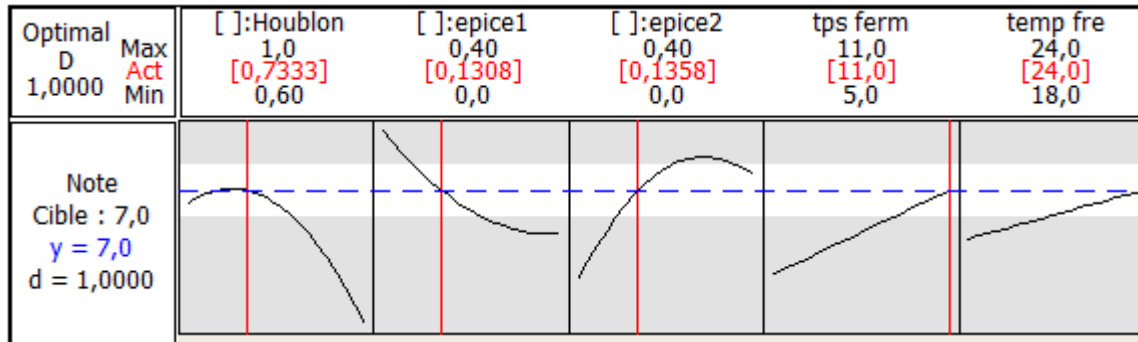


Résultat:

- Pour des valeurs de procédés de fermentation à 11 jours et 24°C:
  - Possible d'obtenir une bière avec des notes de goût qui vont de 4,5 à plus de 8
  - Pour une même note de goût, possible de proposer des mélanges très différents
  - Pour atteindre des notes élevées de goût, l'utilisation de l'épice 2 sera nécessaire.

# Optimisation

## - Optimisation en goût (objectif 7 +/- 0,5)

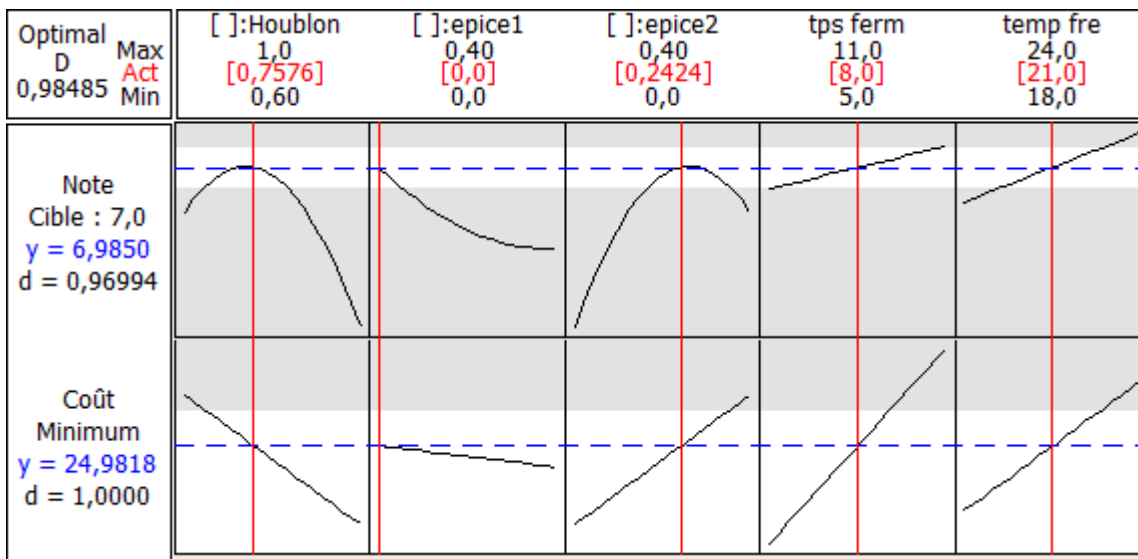


Résultat:

- Exemple d'optimisation de formulation et ajustement des paramètres de procédés de fermentation pour une valeur cible à 7.
- Beaucoup de solutions sont possibles
- Possibilité d'ajuster les valeurs en fonction d'autres critères, exemple: réduire le temps de fermentation en changeant le rapport epice2/epice1

## - Optimisation en goût (objectif 7 +/- 0,5) et du coût (coût objectif 25€ )

Modélisation du prix de revient effectué de la même manière que la note de goût



Résultat:

- La formulation proposée permet de répondre aux objectifs de goût et de coût.
- On augmente la proportion d'épice2 qui même si elle est plus chère que l'épice 1 permet de réduire les temps et température de fermentation (très coûteux).
- Avec la première formulation (optimisation en goût uniquement), le prix de revient est de 29€ => objectif de coût largement dépassé.
- On optimise le goût en limitant les dépenses liées à la consommation d'énergie nécessaire à la fermentation.