

	Plan d'expériences TAGUCHI	
Nom Prénom	Protocole d'expérimentation	Date Indice
PRESENTOIR VERRES ET BOUTEILLE A WHISKY		

GROUPE D'EXPERIMENTATION

Nom Prénom	Fonction
Nom Prénom	Fonction
Nom Prénom	Fonction
Nom Prénom	Fonction

OBJECTIFS

L'objet de ce plan d'expériences est de trouver, pour la production de ce support de verres et bouteille à whisky, une combinaison des réglages sélectionnés en vue d'optimiser la qualité du produit en regard des critères choisis.

L'objet de ce protocole d'expérimentation est de définir avec précision les réglages et paramètres à maintenir fixes, ou à faire varier au cours des 16 différents essais. Il a également pour but de définir les méthodes de mesures à utiliser pour qualifier ces essais.

Ce protocole défini :

- A)* Le produit à fabriquer
- B)* La machine de fabrication
- C)* Les investigations préalables
- D)* La définition des caractéristiques à optimiser
- E)* La définition des facteurs et les valeurs des niveaux à tester
- F)* La définition des facteurs devant rester fixes
- G)* L'organisation de l'expérimentation
- H)* Le protocole de mesures

A - LE PRODUIT A FABRIQUER

Il s'agit d'un support d'emballage de verres et bouteille à whisky qui sert à positionner 4 verres à whisky autour d'une bouteille et à les caler pour éviter leur mouvement en translation. Il peut être amené à servir de présentoir des produits.



Présentoir verres et bouteilles à whisky

Les contraintes liées au produit sont essentiellement d'ordre :

- Esthétique : bon aspect, pas de déformations ni de déchirures, pas de plis,
- Dimensionnel : les verres doivent pouvoir se positionner aisément dans leur logement. Leur tenue est assurée par un léger serrage des flancs,
- Mécanique : le support ne doit pas s'effondrer à la mise en place des produits (verres et bouteille).

Le présentoir est thermoformé à partir d'une feuille PVC d'épaisseur 400 μm et de 450 mm de laize.

B - LA MACHINE DE TRANSFORMATION

Il s'agit d'une thermoformeuse mono-poste GEISS type U7. La chauffe et le formage de la feuille s'effectuent sur le même poste.

Les panneaux de chauffe sont équipés d'éléments radian en quartz qui confèrent à la machine une forte puissance pour les montées en température.

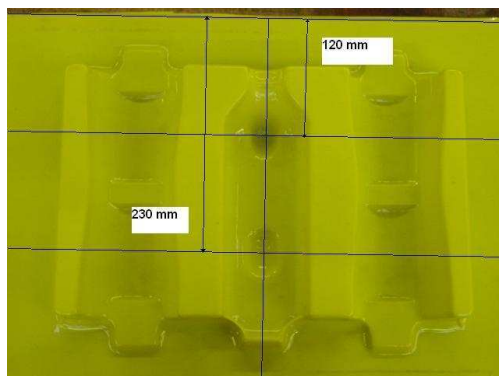
Le moule de thermoformage utilisé est un moule en alliage d'aluminium. Il est équipé d'une assistance mécanique en bois.

C - INVESTIGATIONS PREALABLES A L'EXPERIMENTATION

Il nous faut :

- Déterminer l'ordre de grandeurs des paramètres de réglages et tester les configurations défavorables pour mesurer leur faisabilité (*Voir le paragraphe E et les valeurs de chaque niveau*).
- Déterminer le temps de stabilisation de la machine :
 - Le plastitherm (régulation thermique de la table et support moule) met 1 heure pour atteindre la température de 30°C ou de 60°C, ceci sans l'apport calorifique de la chauffe des feuilles (= hors production). La mise en production permettrait de réduire ce temps.
 - Après stabilisation de la température du plastitherm et 5 cycles de production, les temps de montée en température du panneau de chauffe et de la feuille se stabilisent. Nous produirons par conséquent 5 échantillons après stabilisation, ce qui correspond à un total de 10 cycles, et nous prélèverons ensuite les échantillons.
- Déterminer le nombre de pièces à produire par essai : nous partirons sur une base de 5 échantillons consécutifs.
- Déterminer les valeurs permettant de tester l'assistance poinçon. Le point zéro (0s) est défini au moment où l'assistance et le moule viennent en contact de la feuille en même temps. Les retards ne sont pas réglables directement sur la machine. La synchronisation de l'assistance et du moule étant liée à plusieurs paramètres machines, les écarts Δt seront gérés par les paramètres de réglage « Assistance poinçon bas » et « table haut après ».
- Rechercher les points de mesure des épaisseurs pour analyser l'étirage de la matière et l'homogénéité de celui-ci.

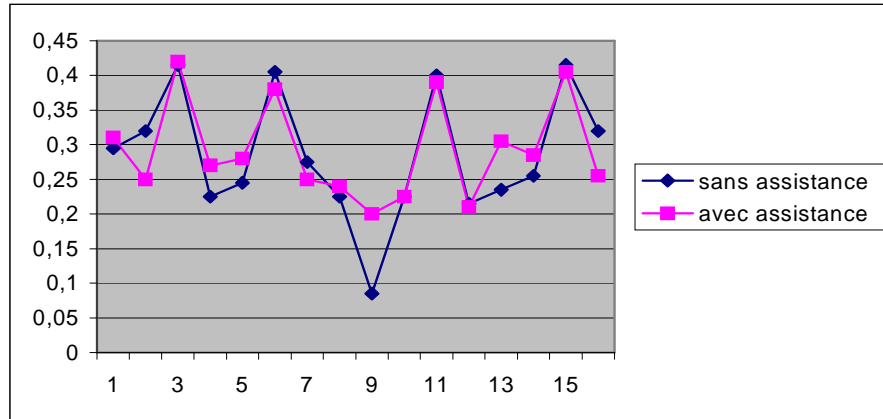
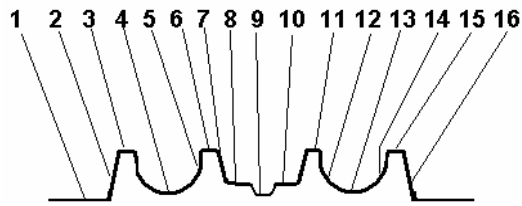
Pour cela, nous avons réalisé un essai avec assistance et un essai sans assistance pour observer la variabilité des épaisseurs.



La mesure a été faite en 16 points sur une coupe de la pièce située à 120 mm du bord du moule (coté goulot de la bouteille).

C'est au niveau de cet axe que nous avons identifié les étirements maxima (=épaisseurs minimales) de la matière.

Résultats :



Mesure des épaisseurs au niveau des points de mesure

Nous avons constaté que l'épaisseur des points 3, 6, 11 et 15 ne varient pas de façon significative. Nous ne retiendrons donc pour les mesures que le seul point n°11, proche du centre de la pièce, et qui peut être sujet à variation avec l'emploi de la fonction bullage de la machine.

D - DEFINITION DES CARACTERISTIQUES A MESURER

Il nous faut identifier les différents types de défauts pouvant apparaître et les exprimer en unités de surface ou de volume puisque les mesures doivent être quantifiables. Le contrôle par attributs n'est pas adapté à un plan d'expérience.

Les défauts pouvant apparaître portent sur :

- 1) la tenue mécanique de la pièce.
- 2) l'esthétique de la pièce.
- 3) les dimensions.

- 1) **Tenue mécanique** : une mauvaise répartition des épaisseurs liée à un étirement non homogène de la matière en est la cause principale.

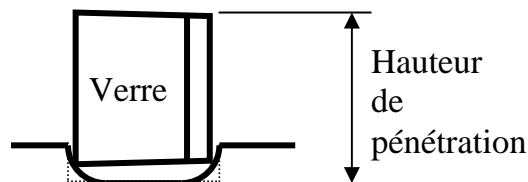
La caractéristique que nous étudierons, sera la variation d'épaisseur (Δe) par rapport à la valeur cible de 272 μm déterminée de la façon suivante :

L'objectif étant d'avoir une répartition d'épaisseur longitudinale la plus uniforme possible, nous définissons un taux d'étirage moyen à partir duquel nous déduirons une épaisseur moyenne qui sera la cible à atteindre.

Le taux d'étirage longitudinal est égal au développé de la pièce en mm sur l'axe de coupe à 120 mm du bord de la pièce (cf § C) divisé par la longueur initiale en mm de la feuille, soit $780 / 530 = 147\%$. Ceci donne à partir d'une épaisseur moyenne de 400 μm de la feuille à thermoformer une cible de 400 $\mu\text{m} / 1,47$, soit 272 μm en épaisseur moyenne.

Nota : un modèle d'enregistrement des résultats (.xls) sera fourni à NP.

- 2) **Esthétique pièce** : elle est altérée par la présence de plis, caractéristiques d'une irrégularité de l'étirement et/ou d'une mauvaise reprise élastique de la matière.
- 3) **Les dimensions** : un mauvais formage nuit à la fonctionnalité de la pièce en ne permettant pas un bon positionnement des verres dans leur logement. La hauteur de pénétration de la pièce ne sera alors pas satisfaisante.



Pour l'instant, nous n'avons pas évalué la validité de ce moyen de mesure de la hauteur de pénétration.

E - DEFINITION DES FACTEURS A TESTER PENDANT LE PROCESSUS

Pour mémoire :

On suppose, pour la construction du plan, que les facteurs choisis n'ont pas d'interactions. L'étude sur les interactions ne s'effectuera pas pour l'instant. On ne teste à ce niveau que les effets des principaux facteurs.

Nota : si au cours de l'essai de validation il y a écart avec le résultat calculé, il y aura probablement des interactions qu'il nous faudra alors étudier.

Nombre de facteurs à tester : plus on en teste, plus on a de chances de trouver ceux qui influent sur le procédé, mais plus on augmente le nombre d'essais. Pour des raisons de budget et de moyens matériels, on prendra 16 essais. Ceci correspond à 15 facteurs à 2 niveaux, ou 12 facteurs à 2 niveaux + 1 facteur à 4 niveaux, ou 9 facteurs à 2 niveaux + 2 facteurs à 4 niveaux.

Nous utiliserons une matrice L16 à 6 facteurs à deux niveaux et 3 facteurs à 4 niveaux.

Les facteurs à tester

- Température table (plastitherm 1) : **facteur A**

Niveau	Plastitherm 1
1	30°C
2	60°C

- Retard vide : **facteur B**

Niveau	Retard vide
1	2s
2	4s

- Niveau de vide : **facteur C**

Niveau	Niveau de vide
1	60%
2	100%

- Temps de vide : **facteur D**

Niveau	Temps de vide
1	5s
2	9s

- Température de formage **facteur E**

Niveau	Temps de formage
1	130 °C
2	150 °C

- Temps de refroidissement : **facteur F**

Niveau	Temps de refroidissement
1	5s
2	9s

- Chauffe (facteur composite) : **facteur G**

Niveau	Faces feuille chauffées	Puissance de chauffe
1	Sup.	60 %
2	Sup. + Inf.	60 %
3	Sup.	100 %
4	Sup. + Inf.	100 %

- Temps de bullage : **facteur H**

Niveau	Temps de bullage
1	0 s
2	0,5 s
3	1 s
4	2 s

- Retard descente assistance (Assistance poinçon bas) : **Facteur I**

Niveau	Conditions	« Assistance poinçon bas »	« Table haut après »
1	Sans assistance	2 s	0s
2	Assistance avant moule	0 s	0s
3	Assistance et moule simultanés ($\Delta t = 0$)	1,3 s	0s
4	Moule avant assistance ($\Delta t = + 20 \%$)	1,6 s	0s

F - DEFINITION DES FACTEURS DEVANT RESTER FIXES

L'ensemble des paramètres machines fixes ont été enregistrés sur disquette à conserver avec soin et dans la mémoire de la machine. Le programme sera chargé dans le CPU de la machine au début de chaque campagne d'essais.

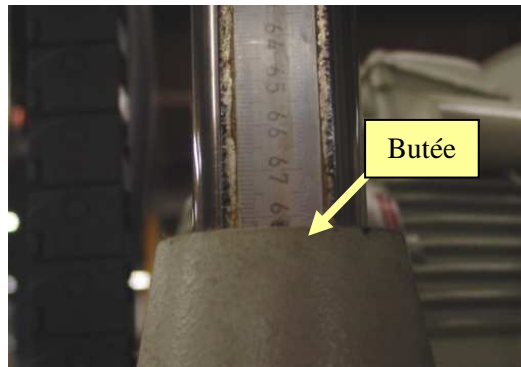
- Nature de la matière : PVC Recyclé.
- Chauffes machine :
 - La fonction pyromètre (*mesure de la température de formage*) et la fonction plastitherm sont **activées**.
 - Profil de chauffe : tous les éléments de chauffe sont à la même consigne de chauffe = **100 %** ? excepté les éléments placés à la périphérie des panneaux supérieur et inférieur qui sont neutralisés par souci d'adéquation entre la surface de chauffe et les dimensions du moule.
 - Panneau supérieur : zones A1 à A7, E1 à E7, 1A à 1E et 7A à 7E = **0 %**.
 - Panneau inférieur : zones A1 à A6, D1 à D6, 1A à 1D et 6A à 6D = **0 %**.
 - Le recul simultané des chauffes supérieure et inférieure est **activé**.
 - Le paramètre « full / reduced » (modulation de la puissance) est fixé à 80 % de la température cible de formage :
 - **104 °C** pour le niveau 1,
 - **120 °C** pour le niveau 2.
 - Le temps de chauffe (*ici, compris comme temps de sécurité*) = **200 s**.
- Contrôleur hauteur bulle **activé** et compensation bullage **activé**.
- Le pré-soufflage est **activé** et le pré-vide **neutralisé**.
- Refroidissement :
 - Les 4 ventilateurs sont **activés** et la vaporisation d'eau **neutralisée**.
 - Retard refroidissement = **6 s**.
 - Retard vaporisation = **0 s**.
- Retard montée table = **0 s**, retard descente table = **0,2 s**, descente table lente = **1 s**.
- Retard remontée cadre de serrage (*paramètre inhérent au fonctionnement machine*) = **2 s**.
- Assistance poinçon haut (*retard retrait assistance*) = **3 s**.
- Retard soufflage air = **6 s**. Relâche (*soufflage air démoulage*) = **0,1 s**.
- Enrouleur et découpe :
 - Temps de fonctionnement enrouleur : **3 s**.
 - Temps de transport = **0,95 s**.
 - Temps de coupe = **2 s**.

G - ORGANISATION DU DEROULEMENT DES ESSAIS

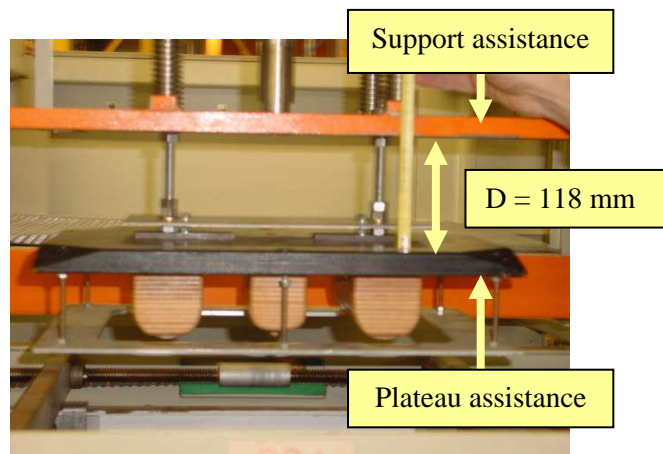
1. **Montage outillage** : montage standard sur support moule aluminium.

2. **Montage assistance** :

Réglage butée assistance : lorsque l'assistance est remontée la graduation au niveau de la butée doit être de 682 mm.



Distance support assistance / plateau assistance : 118 mm



3. **Mise en température plastitherm à 30°C** : attente de 1 heure.

Lancement de production après ½ h de chauffe et pendant ½ h pour stabiliser les échanges thermiques avec le moule.

4. **Mise en température plastitherm à 60°C** : attente de 1,5 heure.

Lancement de production après 1 h de chauffe et pendant ½ h pour stabiliser les échanges thermiques avec le moule.

5. **Stabilisation des paramètres** : 10 cycles.

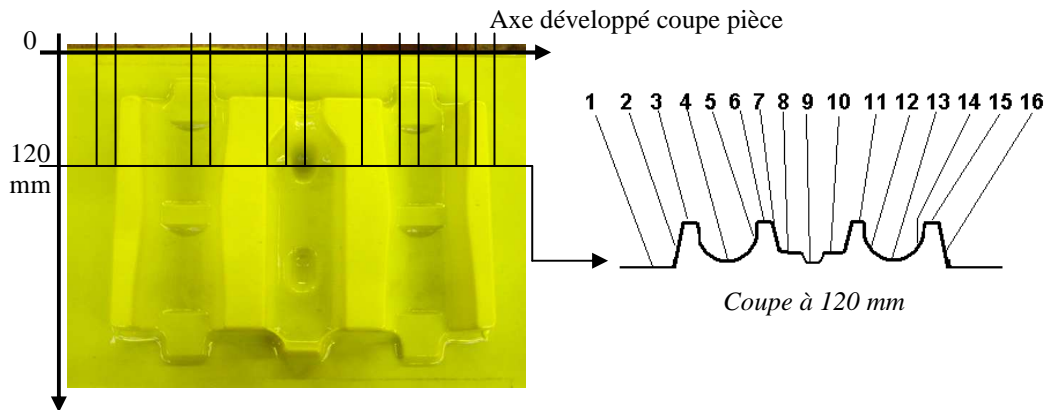
6. **Prélèvement des échantillons** : 5 pièces par essais après les 10 cycles de stabilisation. Les pièces seront numérotées 1-01 (*n° essai - n° ordre de production*).

7. **Temps de cycle** : environ 1 min.

H - LE PROTOCOLE DE MESURES

1. Mesure de la répartition des épaisseurs

Points de référence de la pièce :



Nous ne mesurerons que les points 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14 et 16. Nous excluons dans un premier temps l'hypothèse de symétrie parfaite au niveau des épaisseurs de la pièce.

La mesure de distance se fait sur le développé de la pièce dans le sens longitudinal par rapport au bord gauche du moule.

N° point	Distance en mm
1	50
2	90
4	200
5	250
7	330
8	350

N° point	Distance en mm
9	385
11	465
12	500
13	555
14	610
16	670

2. Mesure des plis

Nous étudierons la dimension des plis et nous les exprimerons en unités de surface.