

PRESENTATION DU PROCEDE

1). PRINCIPE :

Formage sur un poinçon ou moule d'une plaque de thermoplastique rendue malléable par chauffage

2) MATIERE D'ŒUVRE

La matière d'œuvre est un semi-produit sous forme de plaque ou de feuille

21) Mode d'obtention de la matière d'oeuvre

La matière d'œuvre est obtenue soit :

- par extrusion avec une filière à fente large pour obtenir des films de 0.1 jusqu'à des plaques de 14 mm
- par extrusion de gaines avec une filière tubulaire pour obtenir des films de faibles épaisseurs et étirés suivant deux axes .
- par extrusion calandrage ou laminage pour obtenir des films ou des plaques avec des aspects de surface particuliers : brillance, grainage ou décor

2-2) Les matières utiliséesLes matières amorphes

Tous les thermoplastiques amorphes peuvent être thermoformés. Le thermoformage se fait entre la T° de transition vitreuse et la T° de fusion de la matière.

Les matières semi-cristallines

Le thermoformage est plus délicat (fusion franche et enthalpie de fusion importante) mais néanmoins possible. Le thermoformage s'effectue à une T° très légèrement supérieure à la T° de fusion de la matière.

Remarque :

Que se soit pour les matières cristallines ou les matières amorphes, les produits thermoformés sont des matériaux à haut poids moléculaire (longueur de chaînes macromoléculaires importante)

3) DOMAINES D'APPLICATION ET TEMPERATURE DE TRANSFORMATION DES MATIERES LES PLUS UTILISEES EN THERMOFORMAGE

Matière	domaines d'application	avantages et inconvénients	T° de formage	T° de moule	T° de poinçon
A.B.S	carrosserie de voiture, bateau, planche à voile, moto, machine	- faible prix de la matière - facilité de transformation - non auto-extinguible	140-200°	20-95°	80-120°
P.S-B	Idem à A.B.S + emballage de produits alimentaires et articles de consommation	Idem à A.B.S - matière alimentaire sauf pour les matières grasses - faible résistance mécanique	130-200°	20-80°	80-120°
P.S	Produits alimentaires, conditionnement (blisters, pelliplacage)	Idem à A.B.S - matière alimentaire - bonne transparence	110-160°	20-80°	80-120°
P.V.C	Idem à P.S-B + pièces devant résister au feu	Idem à P.S-B - matière auto-extinguible	140-180°	40-46°	60-150°
P.M.M.A	cockpits d' avions, lampadaires, déflecteurs d'air pour automobiles, bulles de plafonds, baignoires	- prix de matière élevé - très bonnes propriétés optiques - bonne stabilisation au vieillissement	110-160°	50-65°	80-120°
PC	pièce devant résister à des efforts mécaniques importants: bouclier de C.R.S, panneaux publicitaires, casques, bulles de plafonds, borne signalétique	- très bonnes propriétés mécaniques - prix de matière très élevé - très bonne stabilité au vieillissement et à la chaleur	180-220°	40-150°	
P.P / PE	Carters, boîtiers pour l' industrie chimique feuille de skinpack	- très bonne résistance chimique et thermique. Bonne élasticité - matière alimentaire	160-220°	40-90°	80-030°

DESCRIPTION DES DIFFERENTES TECHNIQUES DE THERMOFORMAGE**1) GENERALITES**

On peut décomposer le formage en 5 phases:

- Fixation d'une plaque ou d'une feuille rigide sur un cadre.
- Chauffage de la plaque.
- Formage et maintien de la déformation de la plaque jusqu'à ce que la déformation soit irréversible.
- Démoulage et fin du refroidissement
- Découpage des bords de la plaque et ouverture du cadre.

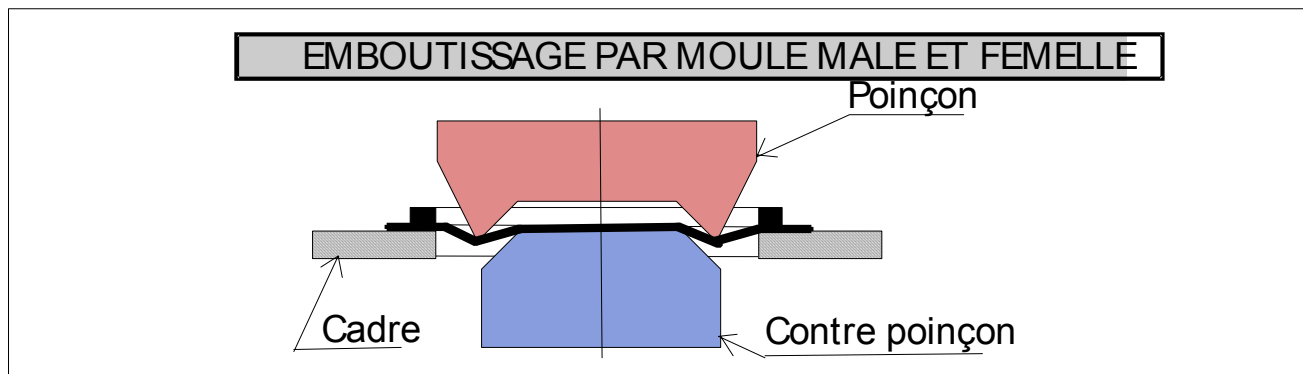
Il existe plusieurs procédés de formage On peut les classer en trois groupes:

- Les procédés dans lesquels la déformation est obtenue grâce à l'action directe d'un poinçon sont appelés : techniques de thermoformage par emboutissage ou moyens mécaniques
- Les procédés qui utilisent la pression ou l'aspiration d'air sont appelés : techniques de thermoformage sous vide ou par gonflage donc de thermoformage par moyens pneumatiques
- Les procédés basés sur la combinaison de ces deux systèmes précédents sont appelés : techniques de thermoformage mixte (pneumatique + mécanique)

Pour le conditionnement de produit on utilise des techniques particulières qui seront traitées à la fin de ce cours

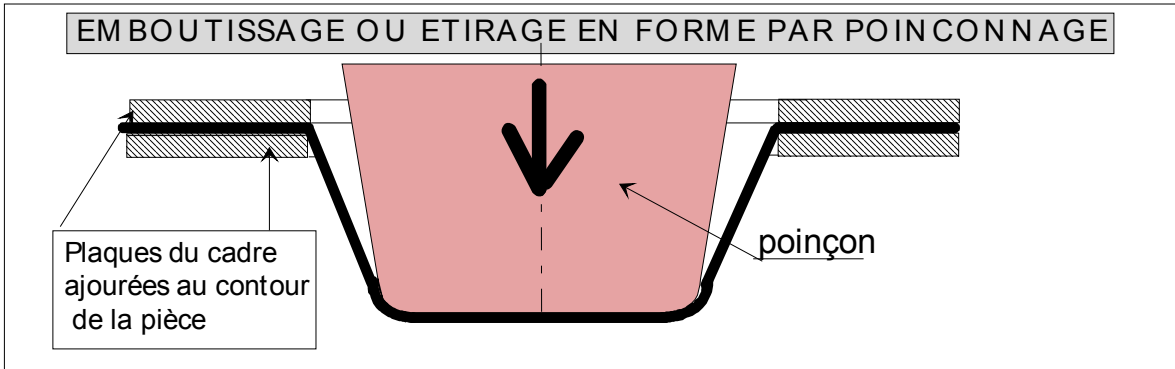
2) THERMOFORMAGE PAR MOYENS MECANIQUES:**2-1) Emboutissage par moule mâle et femelle ou "positif et négatif".**

Ce procédé est de moins en moins utilisé car il a pour inconvénient de marquer les pièces



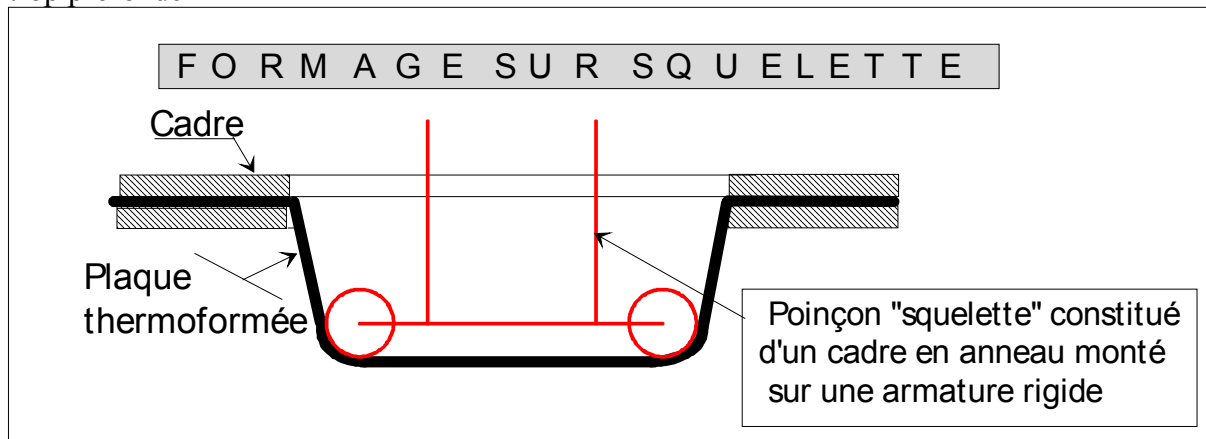
2-2) Emboutissage ou étirage en forme par poinçonnage.

Tenant compte de l'élasticité de la matière chaude on peut souvent supprimer le moule femelle ou plus exactement le réduire à deux plaques ajourées au contour extérieur de la pièce à obtenir entre lesquelles est pincé la feuille chaude. Un poinçon massif ayant la forme intérieure de la pièce est descendu convenablement. Cette descente a pour conséquence de déformer la feuille de plastique sous une pression assez faible

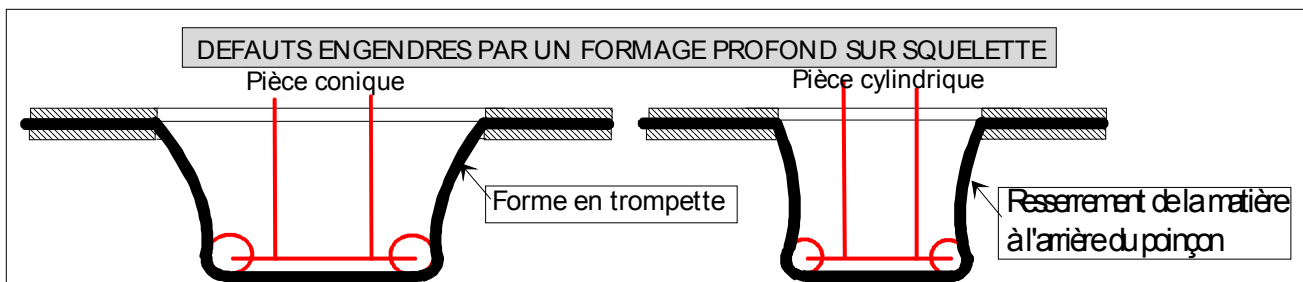


2-2) Emboutissage ou étirage en forme par poinçonnage.(suite)

Il n'est pas nécessaire que le poinçon soit toujours massif. Lors du formage les feuilles de thermoplastique se tendent comme une peau de tambour. Il peut alors être évidé pour se constituer simplement d'une sorte de "squelette" suffisamment rigide, ne portant que sur les angles de variations de surface. Ainsi un simple anneau ou un cadre rigide permettra d'obtenir une forme parallélépipédique ou cylindrique si elle n'est pas trop profonde



Lorsque l'emboutissage devient trop profond l'étirage tend à donner à la pièce une forme en trompette pour les pièces coniques ou à produire un resserrement de la matière en arrière du poinçon dans les pièces cylindriques.



3) THERMOFORMAGE PAR MOYENS PNEUMATIQUES

La technique de formage thermopneumatique est la plus utilisée dans les machines de thermoformage. Le principe de fonctionnement de ces machines est basé sur l'utilisation de l'air sous pression (gonflage) ou le vide pour plaquer la feuille contre une empreinte munie d'évents. Ces orifices de petit diamètre ($\approx \varnothing 0.5 \text{ mm}$) servent à évacuer l'air enfermé entre la feuille et la matrice dans le premier cas, ou aspirer l'air et créer le vide qui plaque la feuille sous la pression atmosphérique contre la paroi de l'empreinte.

3-1) Thermoformage par le vide

Cette technique est actuellement la plus utilisée. De nombreux constructeurs ont mis sur le marché des machines automatiques permettant avec des débits importants, le cycle des opérations nécessaires en continu. Le thermoformage sous vide peut s'effectuer avec deux types de moules, ces derniers réalisés en bois ou en métal coulé, de préférence en alliage léger facile à couler tel que le Zamak.

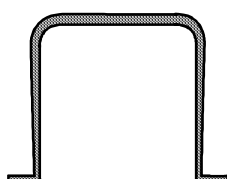
- moule en creux appelé moule négatif
- moule en relief appelé moule positif

Principe du thermoformage par le vide sur moule positif et négatif : (voir les deux pages suivantes)

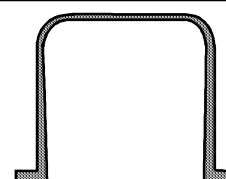
Tableau comparatif des deux types de moule (cas d'une boîte carrée)

	MOULE POSITIF (en relief)	MOULE NEGATIF (en creux)
Qualité de la surface extérieure	identique à la qualité de la surface de la plaque avant thermoformage (pas de contact avec le moule)	fonction de l'état de surface du moule
Qualité de la surface intérieure	fonction de l'état de surface du moule, risque de traces de démoulage	identique à la qualité de la surface de la plaque avant thermoformage (pas de contact avec le moule)
Démoulage	difficile pour les pièces profondes ou sans dépouille car le retrait de la pièce se fait sur le poinçon	aisé car le retrait ne provoque pas de serrage sur le moule
Quantité d'air aspirée	minime donc (formage rapide)	importante formage lent
Variation d'épaisseur	fond épais (\approx épaisseur de plaque) bords minces	fond mince bords épais
formation de plis sur les pièces	possible dans le cas de moule multi empreintes	pas de plis dans le cas de moule multi empreintes
Coût du moule	moule plus simple et meilleur marché	moule plus cher

COUPE D'UNE PIECE THERMOFORMEE SUR UN MOULE POSITIF

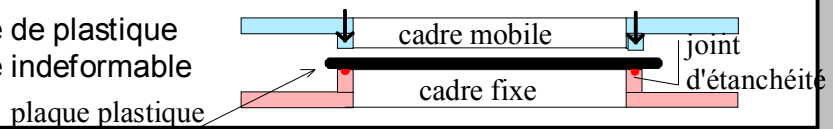


COUPE D'UNE PIECE THERMOFORMEE SUR UN MOULE NEGATIF

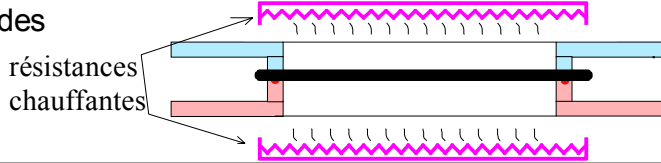


PRINCIPE DU FORMAGE SUR MOULE POSITIF PAR LE VIDE

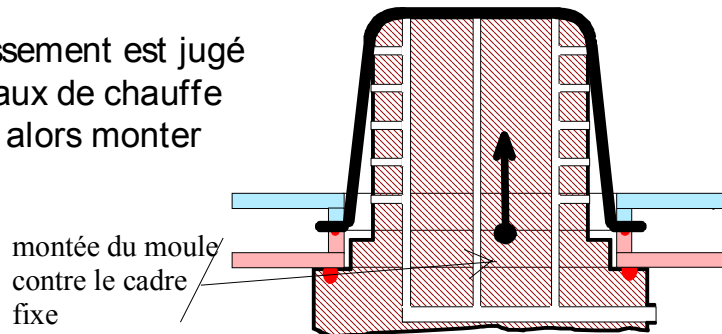
1) La feuille ou la plaque de plastique est pincée dans un cadre indeformable



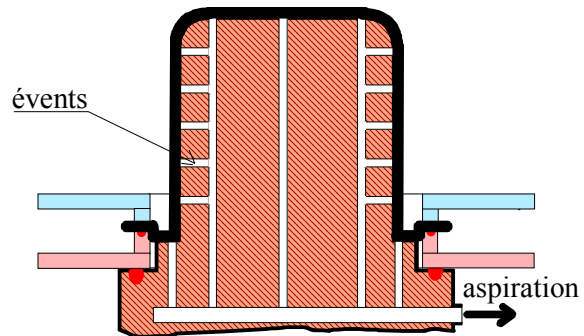
2) La plaque est chauffée par des éléments chauffants jusqu'à ramollissement



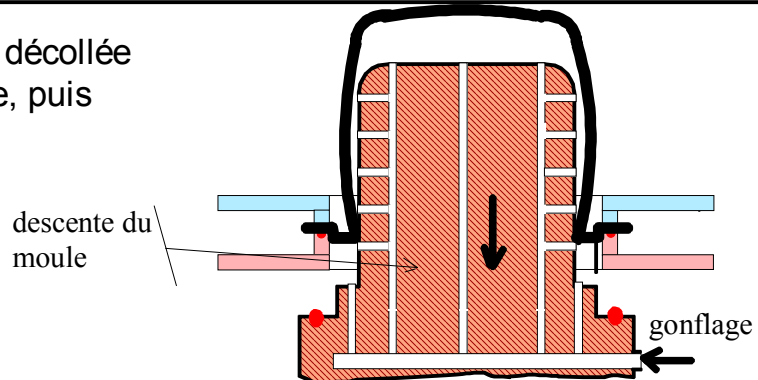
3) Lorsque le ramollissement est jugé suffisant, et les plateaux de chauffe retirés, le moule peut alors monter



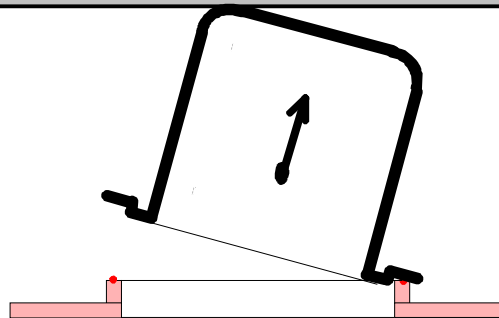
4) La préforme obtenue est aspirée contre le moule par dépression d'air. Le vide a été créé dans la chambre étanche communiquant avec le moule par des événements d'aspiration



5) La pièce est ensuite décollée du moule par gonflage, puis le moule descend

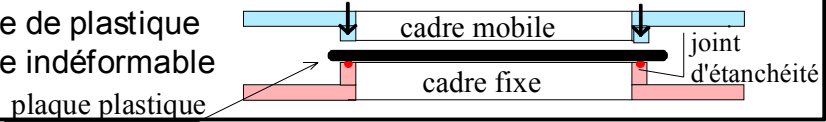


6) Montée du cadre mobile et extraction de la pièce. L'extraction de pièce peut être manuelle ou automatique

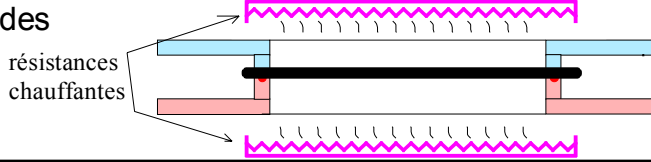


PRINCIPE DU FORMAGE SUR MOULE NEGATIF PAR LE VIDE

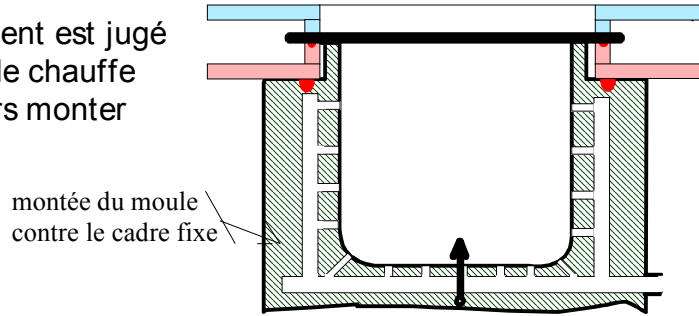
1) La feuille ou la plaque de plastique est pincée dans un cadre indéformable



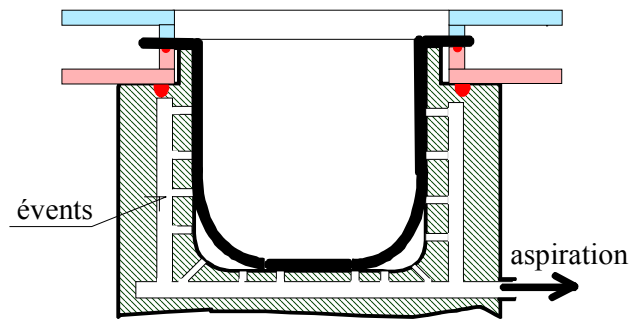
2) La plaque est chauffée par des éléments chauffants jusqu'à ramollissement



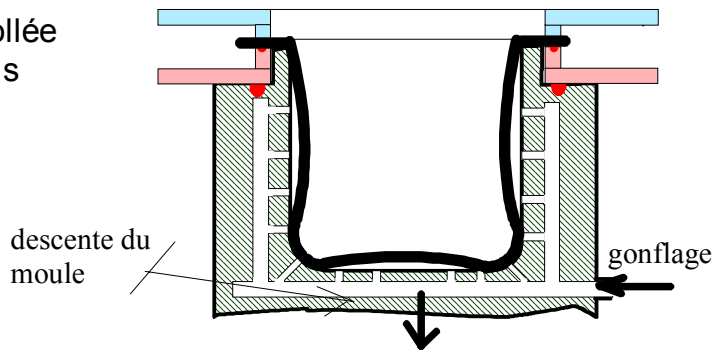
3) Lorsque le ramollissement est jugé suffisant et les plateaux de chauffe retirés, le moule peut alors monter



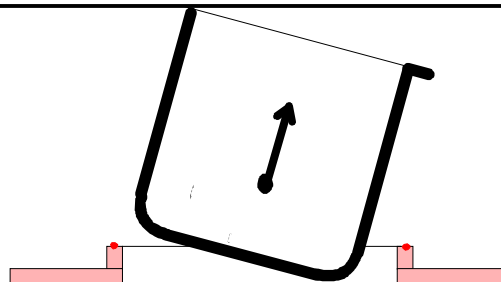
4) La feuille plastique est aspirée contre le moule par dépression d'air. Le vide a été créé dans la chambre étanche communiquant avec le moule par des événements d'aspiration.



5) La pièce est ensuite décollée du moule par gonflage, puis le moule descend.



6) Montée du cadre mobile et extraction de la pièce. L'extraction de la pièce peut être manuelle ou automatique.

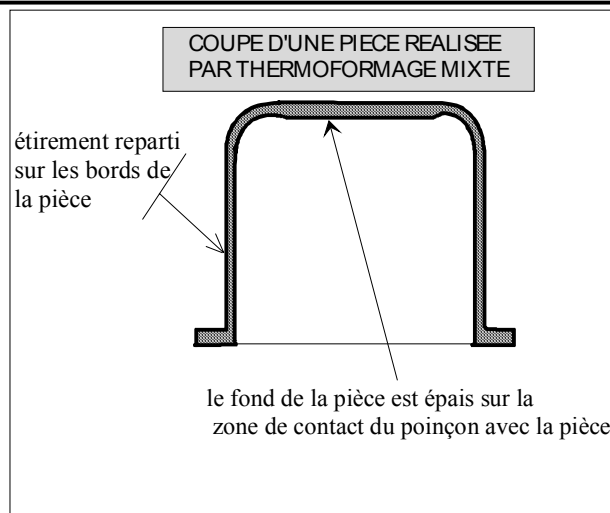
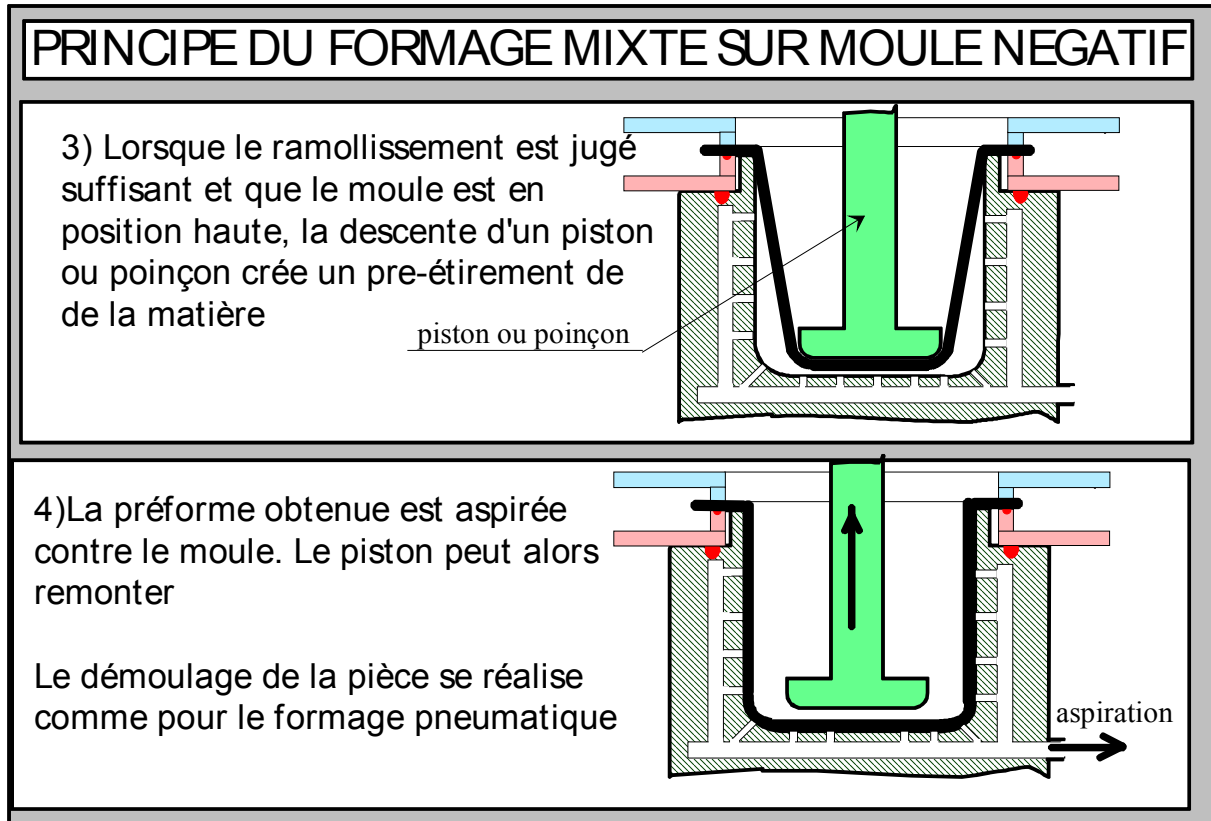


4) THERMOFORMAGE MIXTE (PNEUMATIQUE ET PAR PISTONNAGE)

4-1) Moule négatif assisté par un poinçon

La feuille est dans un premier temps poussée par un poinçon, puis aspirée contre le moule. L'étirement de la plaque est mieux réparti, le temps de formage est diminué et la profondeur de formage peut être plus importante que par formage uniquement pneumatique.

description de la méthode

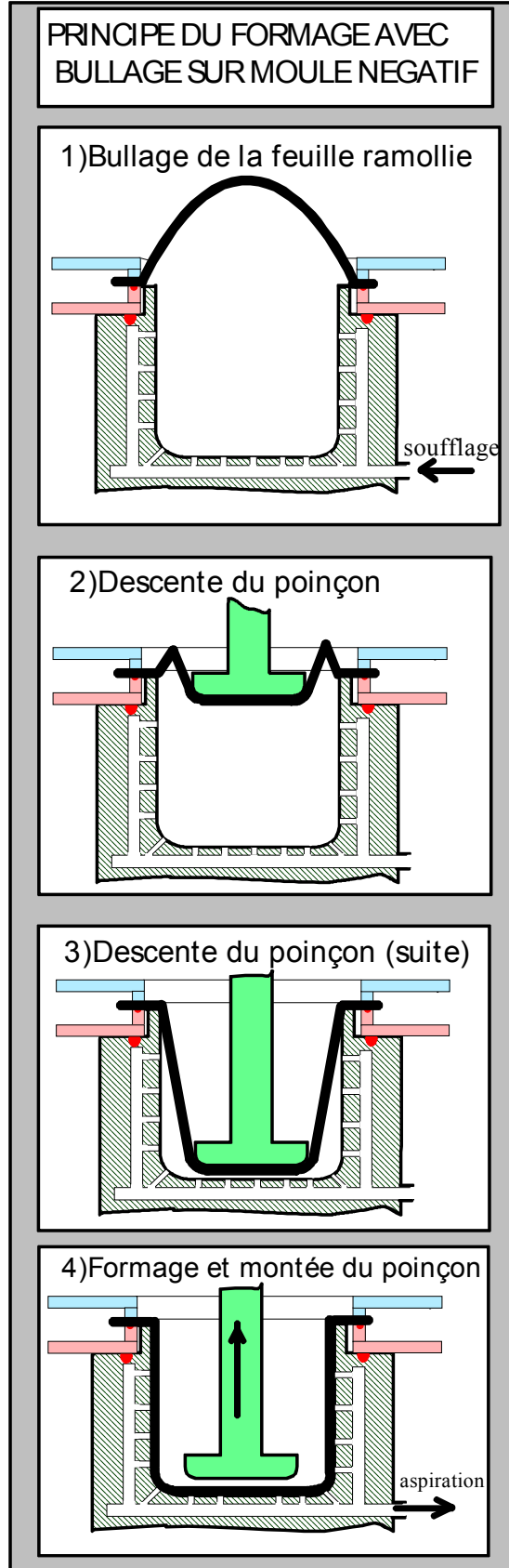
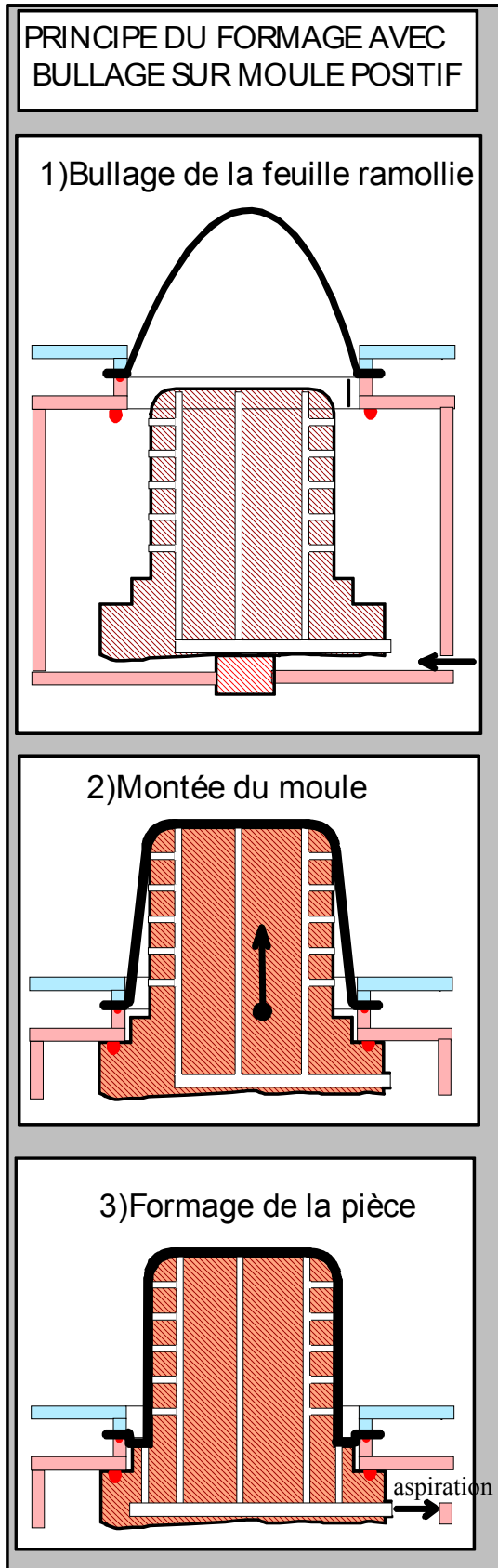


4-2) Pistonnage sur moule positif :

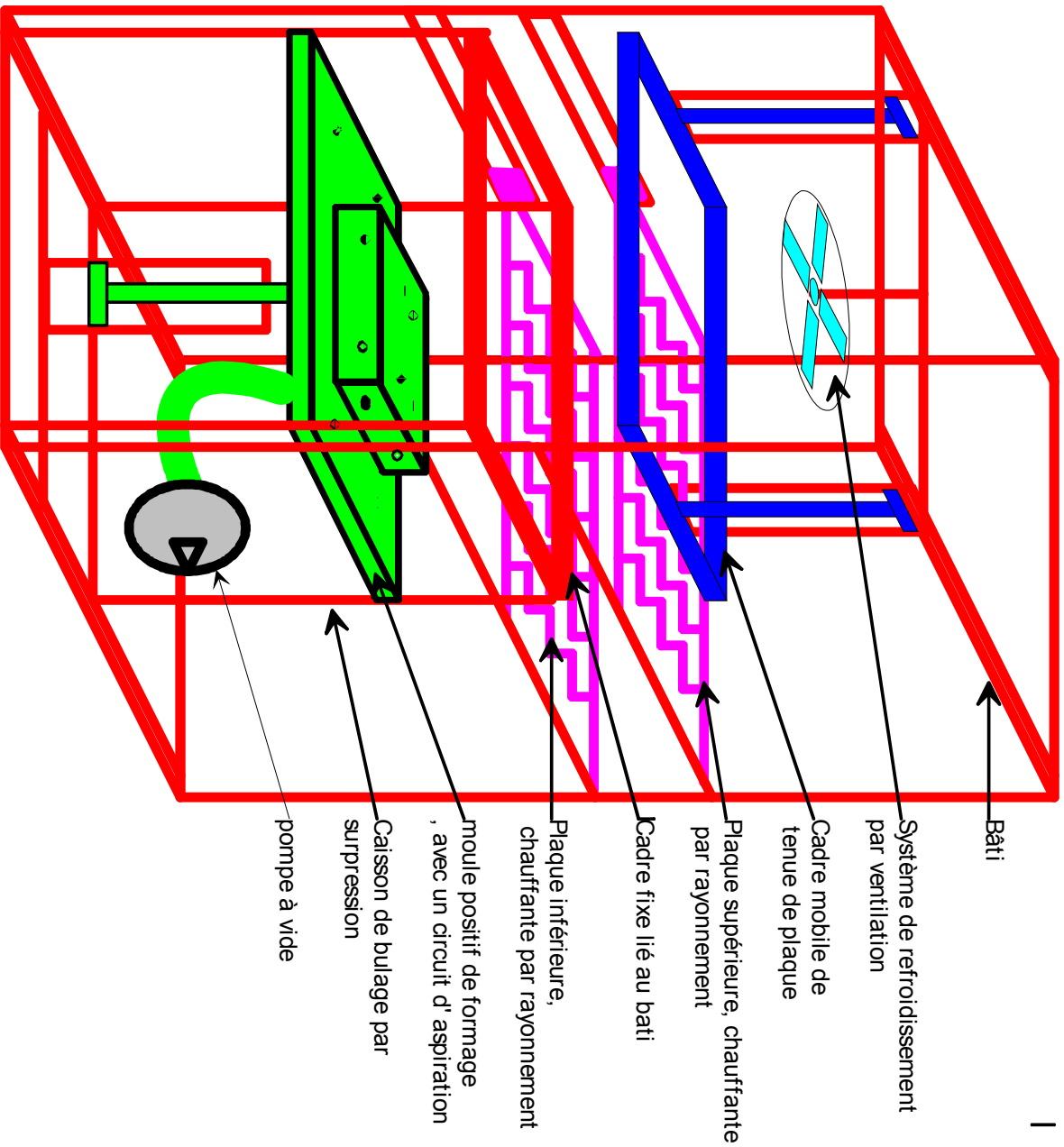
Cette méthode est généralement utilisée pour les moules à empreintes multiples et rapprochées, elle évite la formation de plis entre les noyaux. On utilise dans ce cas un cadre comme poinçon qui descend entre les noyaux

5) BULLAGE AVANT FORMAGE SUR MOULE POSITIF OU NEGATIF

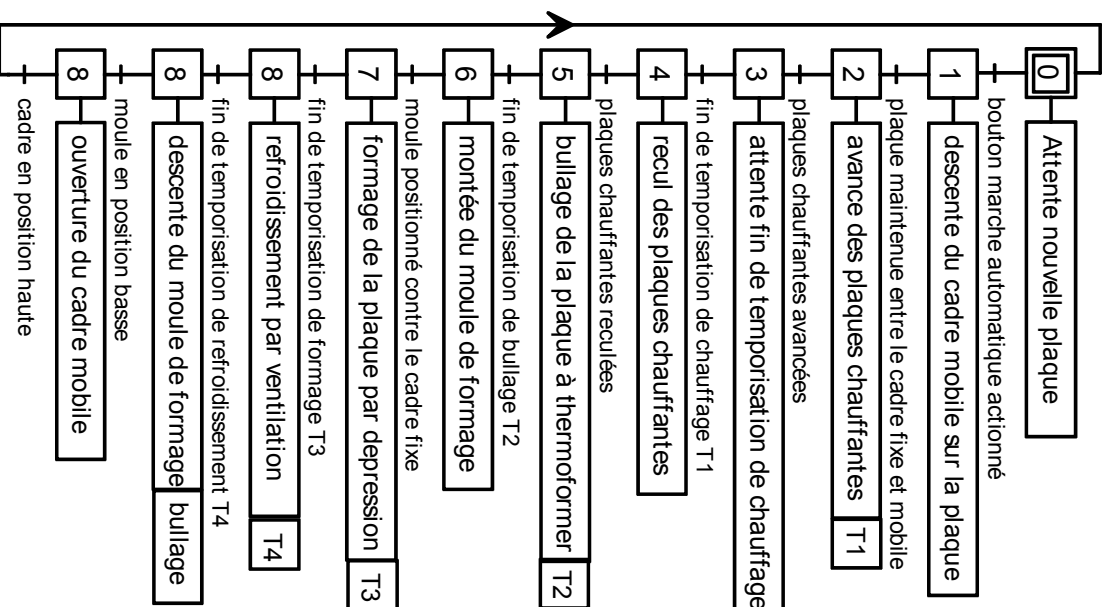
Cette technique permet de diminuer les différences d'épaisseur entre les bords et le fond des pièces réalisées en thermoformage sur moule positif. On crée un étirement de la feuille préalablement ramollie, en appliquant une pression d'air. On a ainsi formation d'une bulle avant le formage de la pièce.



SCHEMA D'UNE MACHINE A THERMOFORMER



CYCLE AVEC BULLAGE



Caractéristiques des machines à thermoformer:

Dimensions maximum du cadre de serre-flan

Hauteur maximum du moule

Puissance des plaques chauffantes ou panneaux radiants (panneaux radiants composés de plusieurs zones)

Type de résistances radiantes utilisées:

Type mesure de température (thermocouple ou capteur infrarouge)

Options possibles: bullage, pistonnage, démoulage par air comprimé

Type d'alimentation: (par porte bobine, dévidoir, et découpage)

Débit de la pompe à vide. Volume de l'accumulateur de vide

Paramètres de réglage d'une machine à thermoformer: cas de la machine du lycée

étape du cycle	Réglages
chauffage de la plaque	- Température maximum des radiants pour diminuer le temps de chauffe sans brûler la plaque. - Temps de chauffage minimum pour obtenir une température suffisante de la plaque à thermoformer.
Montée de la table	Vitesse rapide pour améliorer le formage de la pièce et diminuer le temps de cycle
Bullage	- Réglage du débit et du temps de bullage pour obtenir une hauteur maximum de bulle sans formation de plis sur la pièce - Le temps doit être court mais avec un grand débit d'air (cadence)
Aspiration	- dépression et débit maximum pour former le plus rapidement possible la pièce sans plis ni marque due aux trous d'aspiration ($\varnothing 0.5$ maxi pour une plaque de 1mm)
Retard ventilation	le refroidissement peut commencer lorsque le formage de la pièce est fini
Ventilation	l'orientation et le débit des buses de ventilation doivent être réglés de façon à obtenir un refroidissement uniforme et ne pas marquer la pièce. le temps de refroidissement doit être minimum: la pièce ne doit pas se déformer lors du démoulage. Attention la T° d'un moule non régulé n'est pas constante.
Démoulage	Le débit et le temps de soufflage doivent permettre de décoller totalement la pièce avant la descente du moule
Retard descente table	le retard de descente table doit être légèrement inférieur au temps de démoulage La descente du moule doit se réaliser pièce décollée du moule.
Descente table	La première vitesse de descente doit être faible pour ne pas endommager la pièce lors du démoulage La deuxième sera rapide (cadence).

Questionnaire d'accompagnement de lecture du cours (vérification personnelle des connaissances):Questions possibles

- Quelle est la différence entre un thermoformage sur moule positif et un thermoformage sur moule négatif? faire un schéma et donner les avantages et les inconvénients de ces deux techniques.
- Quel est l'intérêt de réaliser un bullage avant formage?
- Quel est l'intérêt d'utiliser l'assistance d'un piston en thermoformage sur moule négatif (préformage mécanique)? Dans quel cas le préformage mécanique est-il nécessaire?
- Faire un GRAFCET décrivant le cycle de thermoformage sur moule positif avec bullage et formage par dépression. Faire un schéma de la machine en désignant les différentes parties.
- Localiser sur le dessin d'une pièce les zones qui vont être les plus étirées.
- Citer des exemples de défauts possibles sur des pièces thermoformées. Donner des remèdes

Calculs possibles

- Temps de chauffe en fonction de la matière, de l'épaisseur de la plaque, du type de chauffage
- Epaisseur moyenne de la pièce après thermoformage en fonction de: l'épaisseur de la plaque avant thermoformage et la forme du moule.
- Choisir la machine la plus adaptée pour la fabrication d'une pièce.