

Allègement des produits extrudés par introduction directe de gaz : feuilles, et profilés.

Journée Technique 2017

Allègement des produits extrudés par introduction directe de gaz

L'allègement des produits extrudés constitue un enjeu économique et/ou technique dans de nombreux secteurs d'application. Le CRITT Polymères dispose des équipements pour comparer l'expansion physique par introduction directe de gaz à l'expansion chimique. On vous explique comment...

Les mousses de polymères

Le marché global des mousses est pour une moitié constitué de mousses de polyuréthane PUR.

La deuxième moitié est dominée par les mousses PS (25 %) et les mousses PE (12,5 %) ; viennent ensuite les mousses PP, puis PVC, le reste étant constitué de mousses d'autres polymères tels que PMMA, PET, PLA, ABS, PC, PTFE, etc.

Plusieurs critères peuvent être appliqués pour différencier les mousses :

- leur légèreté ;
- leur nature ;
- les taille et distribution des cellules ;
- leur structure.

Les mousses de polymères

La légèreté des mousses de polymères est caractérisée par la densité relative $d = \rho_{\text{mousse}} / \rho_{\text{polymère}}$

- mousse basse densité BD : densité relative comprise entre 0,10 et 0,20 ;
- mousse moyenne densité MD : densité relative comprise entre 0,30 et 0,60 ;
- mousse haute densité HD : densité relative comprise entre 0,70 et 0,90 ;

Les mousses de polymères

La nature des mousses de polymères est caractérisée par le comportement en compression :

- une mousse souple se déforme de façon réversible,
- une mousse qui se déforme de façon irréversible est dite semi-rigide ou rigide selon que sa déformation rémanente en compression est inférieure ou supérieure à 10 % ;

Selon les taille et distribution des cellules des mousses de polymères :

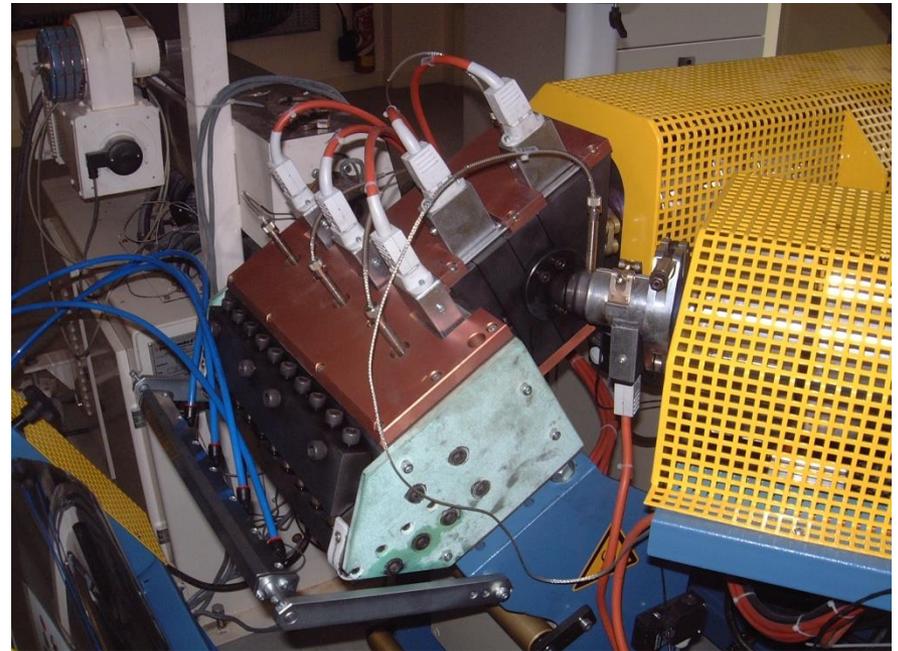
- mousse normale,
- fine ou micro-cellulaire.

Les mousses de polymères peuvent avoir une structure à cellules ouvertes (poreuse), ou à cellules fermées (étanche).

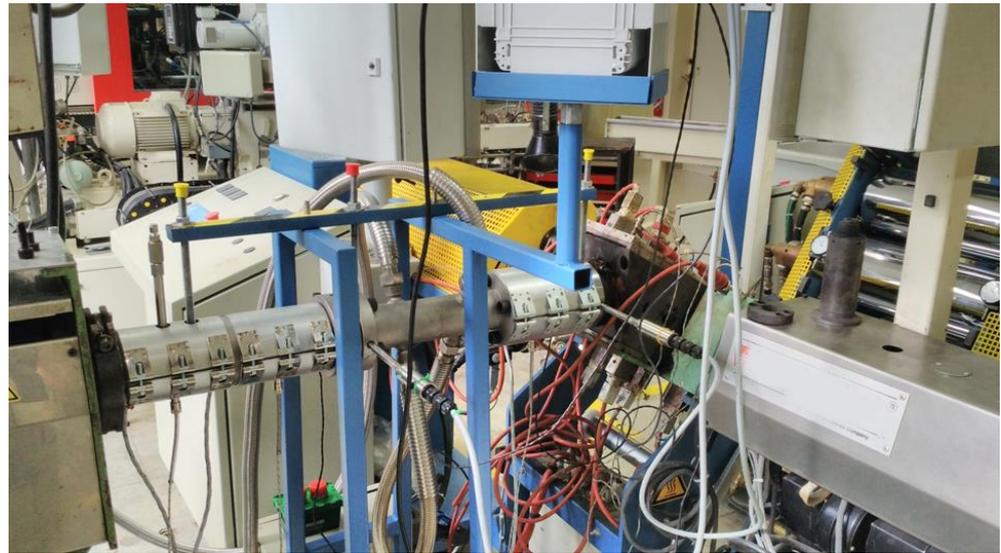
Les modes d'expansion en extrusion de feuille ou profilé

- Le moussage chimique : utilisation d'agents chimiques (« CFA ») qui se décomposent ou réagissent sous l'action de la chaleur pour libérer un gaz dans la matrice polymère.
- Le moussage physique par introduction directe d'un gaz généralement inerte dans la matrice polymère (« direct gassing »).

- Depuis 2004, le CRITT est équipé d'une ligne pilote d'extrusion calandrage multicouche sur laquelle de nombreux essais ont été réalisés pour obtenir des feuilles expansées mono ou multicouches pour des applications diverses en utilisant des agents chimiques ou des microsphères expansives.



- Grâce à un cofinancement de l'union Européenne, le CRITT a fait l'acquisition en novembre 2016 d'un système d'introduction direct de CO₂ pouvant se monter indifféremment sur la ligne d'extrusion calandrage ou sur la ligne de profilé.



« Direct gassing »

Le « direct gassing » consiste à introduire le gaz d'expansion directement dans le polymère à l'état fondu dans l'extrudeuse.

Le CO₂ et le N₂ sont les gaz les plus utilisés.

Dans le cas du CO₂, pour obtenir un mélange homogène, il faut introduire le « gaz » à l'état de fluide supercritique au sein de la matière fondue.

« Direct gassing »

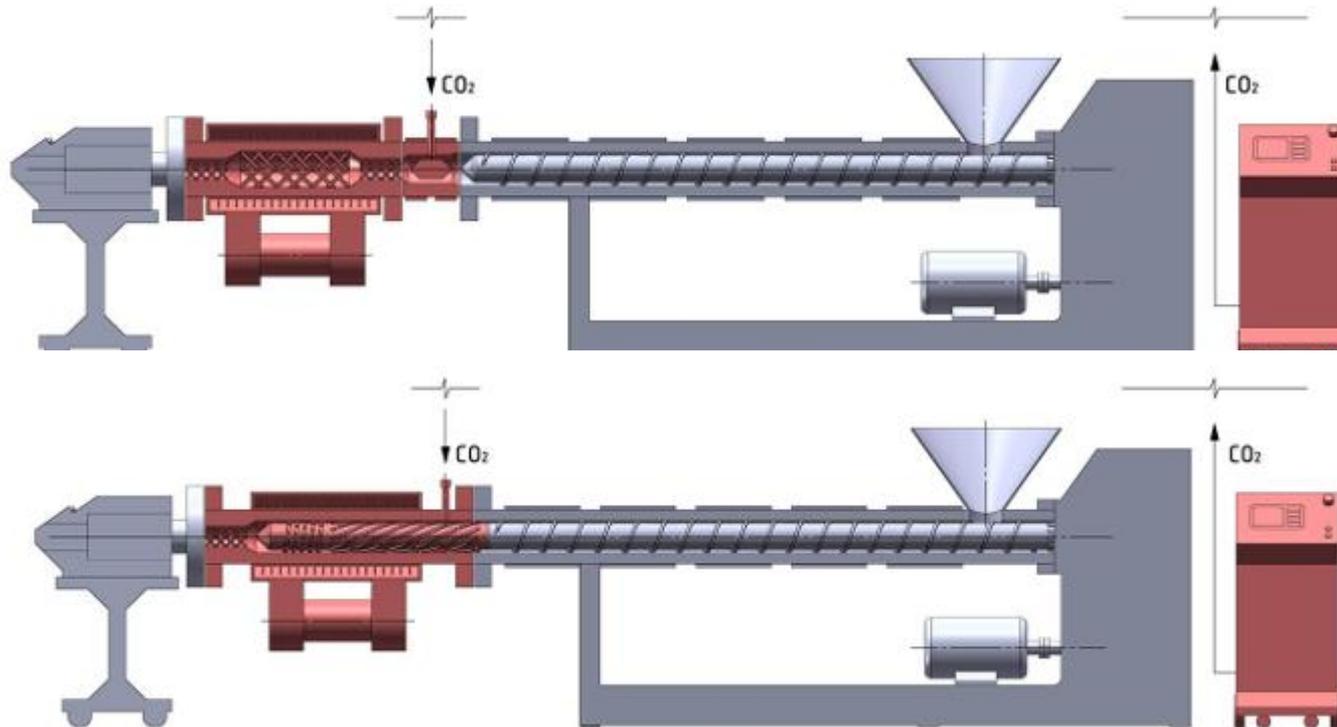
L'injection de gaz nécessite un équipement spécial comprenant l'unité de dosage de gaz et un injecteur.



« Direct gassing »

Au niveau de l'extrudeuse, deux possibilités :

- Une seule extrudeuse monovis (mousses de moyenne et haute densité) :

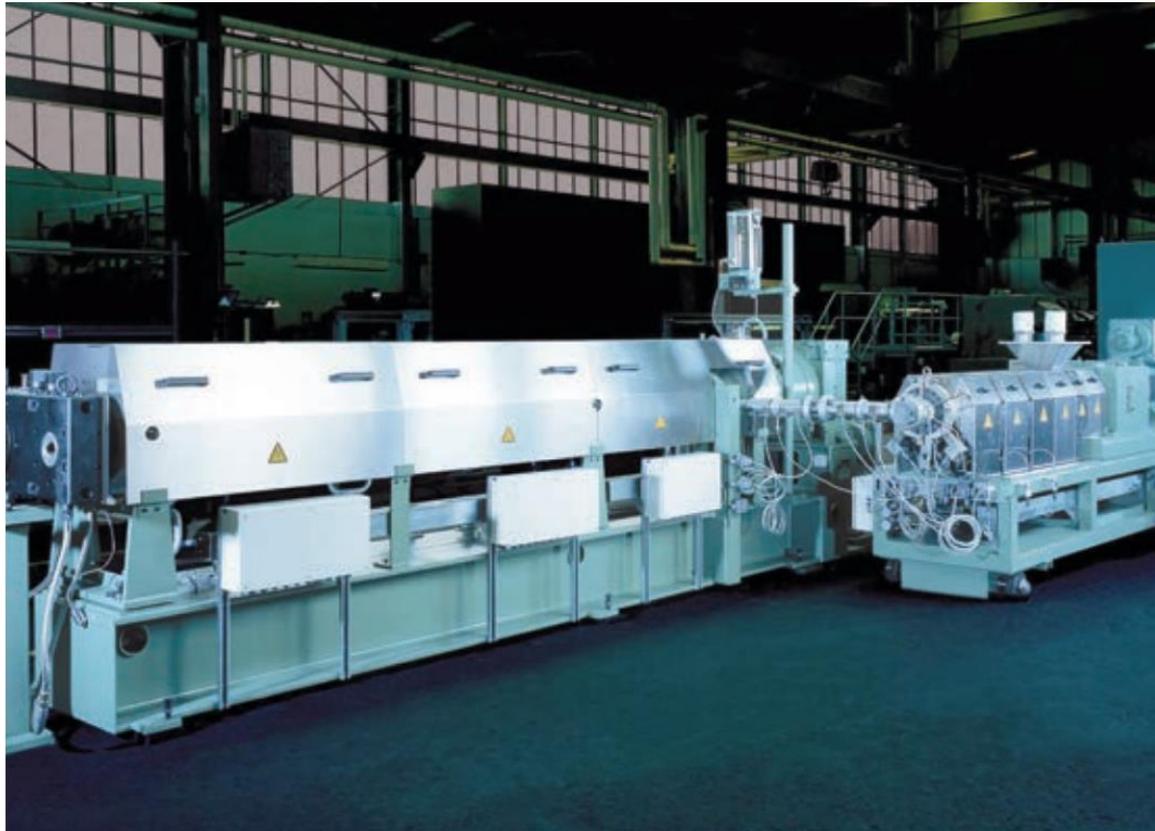


« Direct gassing »

- Deux extrudeuses montées en cascade, (mousses de basse densité) :
la première (souvent une bivis) destinée à faire fondre le polymère, la deuxième extrudeuse, en générale une monovis très longue permet de refroidir le polymère contenant le gaz en solution. Le gaz est introduit à la fin de la première extrudeuse.



« Direct gassing »



Foam extrusion unit in tandem setup, consisting of a twin-screw extruder and a single-screw extruder (Photo: Berstorff).

« Direct gassing »

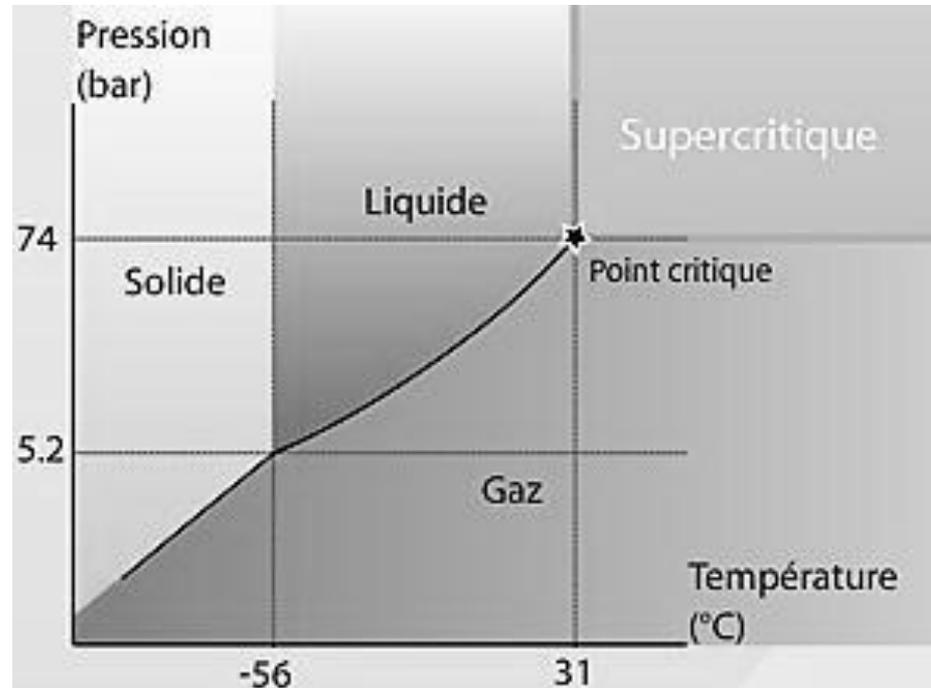
Le fluide supercritique a toutes les propriétés favorables des deux phases gaz et liquide :

- densité intermédiaire ;
- grande diffusivité thermique ;
- basse viscosité

« Direct gassing »

- Le point critique présente l'état d'équilibre entre les deux phases : liquide et gaz.
- Il est défini par la pression critique P_c et la température critique T_c .
- La région supercritique correspond à la pression $P > P_c$ et à la température $T > T_c$.

« Direct gassing »



Les différents états du CO₂ en fonction de la température et de la pression

« Direct gassing »

Le fluide supercritique est comme un liquide pour ses propriétés de solubilité et comme un gaz pour ses propriétés de diffusion. Dans cet état, la capacité de solubilisation du gaz dans les polymères est élevée.

Conditions supercritiques du CO₂ :

	Température critique (°C)	Pression critique (bar)
Dioxyde de carbone (CO ₂)	31	74

« Direct gassing »

- La formation d'un mélange gaz-polymère dépend de la pression et de la température dans le fourreau pour lesquelles le CO_2 est dans un état supercritique :
 - La solubilité du CO_2 dans la matrice polymère augmente avec la pression de façon linéaire et diminue avec la température.

« Direct gassing »

- Pression et température doivent être parfaitement stables pour que la quantité de gaz dissous dans le polymère soit stable.
- Pour un gain de densité de l'ordre de 20% :
 - débit massique $\text{CO}_2 = 0,1\%$ x débit massique polymère.
 - débit massique $\text{N}_2 = 0,02\%$ x débit massique polymère.

« Direct gassing »

- Le gaz dissous diminue la viscosité du polymère d'où la nécessité de baisser la température de la matière après l'introduction du gaz
 - C'est le rôle du « melt cooler » dans le cas d'une seule extrudeuse, ou de la deuxième extrudeuse dans le cas de 2 extrudeuses en cascade

- Le processus d'**expansion** peut être modélisé en trois étapes :
 - initiation du processus de formation des bulles :
nucléation ;
 - croissance des bulles : gonflement ;
 - stabilisation de la structure.

Nucléation

- Il existe deux mécanismes de nucléation :
 - nucléation homogène : microbulles aléatoirement réparties dans une matrice pure et parfaitement homogène ;
 - nucléation hétérogène : microbulles générées à l'interface dans une matrice constituée de plusieurs phases – qui permet de mieux « contrôler » la répartition des microbulles.
- C'est ce deuxième mécanisme qui prévaut lors de la fabrication d'une mousse de polymère.

Nucléation

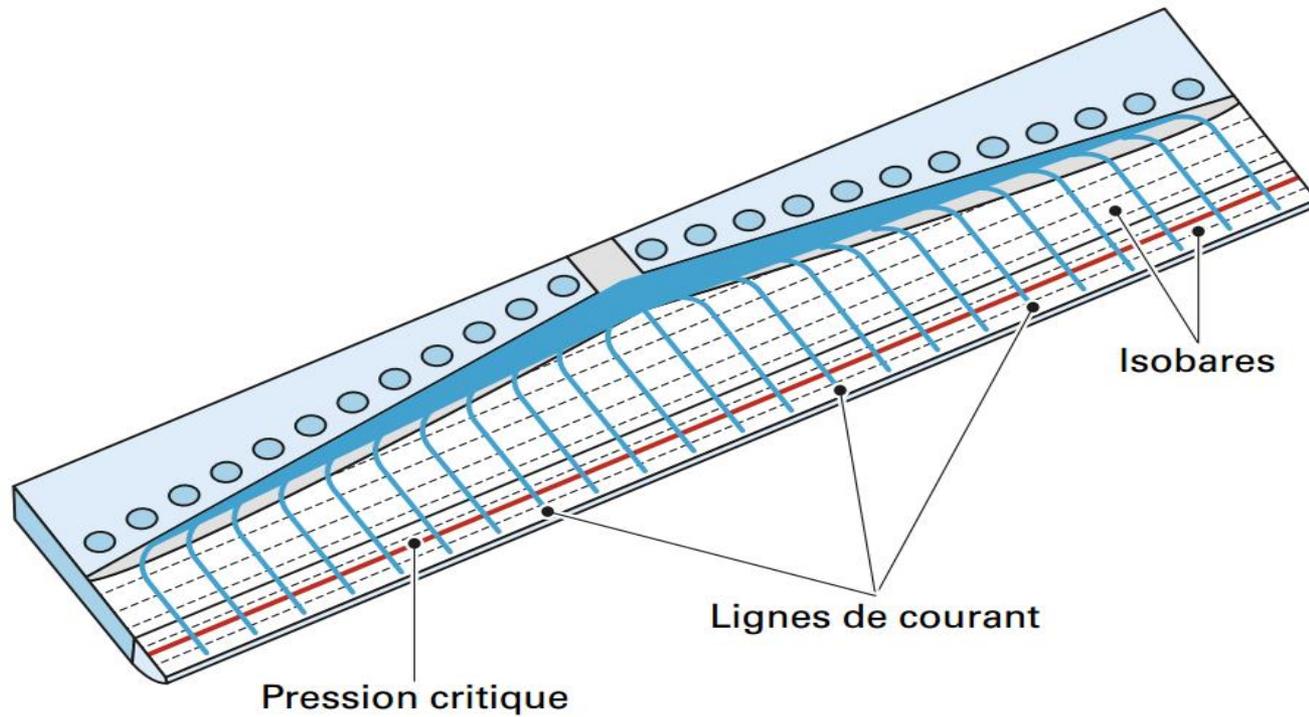
- La nucléation hétérogène fait appel à deux types d'agents nucléants :
 - Nucléants passifs : Dispersion parfaite de particules solides très fines (microtalcs, oxydes métalliques) dans la matrice polymère. La germination des bulles s'opère dans les crevasses microscopiques qui jalonnent les interfaces matière fondue-particules.
 - Nucléants actifs (chimiques) : leur décomposition donne naissance à des microcavités qui constituent autant de sites de germination des bulles.

Gonflement :

Sous l'effet de la baisse de pression vers la sortie de filière, le gaz dissous dans la matrice polymère diffuse vers les cavités microscopiques générées par la nucléation.

La température de la filière, la valeur initiale de la pression à l'entrée de la filière et le gradient de pression dans la filière sont les paramètres clés pour le déroulement de ce mécanisme de gonflement.

Processus d'expansion



Stabilisation :

Dans le cas des polymères allégés, la croissance des bulles s'arrête lorsque la matrice polymérique commence à se solidifier : on stabilise la structure par la voie classique du refroidissement externe.

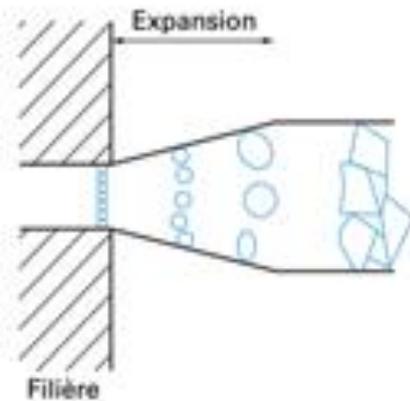
Stabilisation :

Plus on tend vers des mousses BD, plus le gaz diffuse très rapidement, avec le risque de coalescence des cellules.

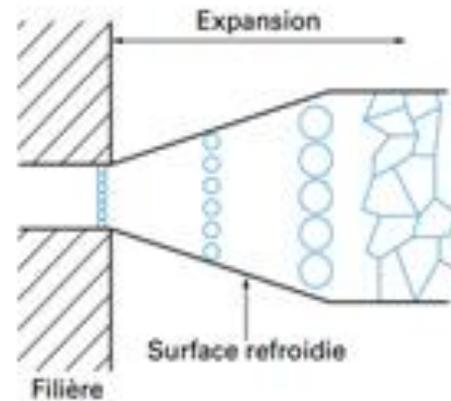
Il faut donc abaisser la température du polymère fondu avant que la matière ne pénètre dans la filière pour avoir le bon ratio d'expansion tout en ayant des cellules régulières.

- Une viscosité trop faible de la matrice fondue ne permet pas de maîtriser la croissance des cellules : phénomène de coalescence des cellules, et apparition de bosses à la sortie de la filière.
- Une viscosité de la matrice fondue est trop élevée, on freine le mécanisme de diffusion du gaz, ratio d'expansion trop faible.

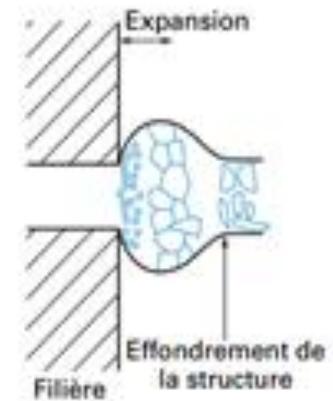
Stabilisation :



(a) matrice trop froide



(b) bonne température



(c) matrice trop chaude

Stabilisation :

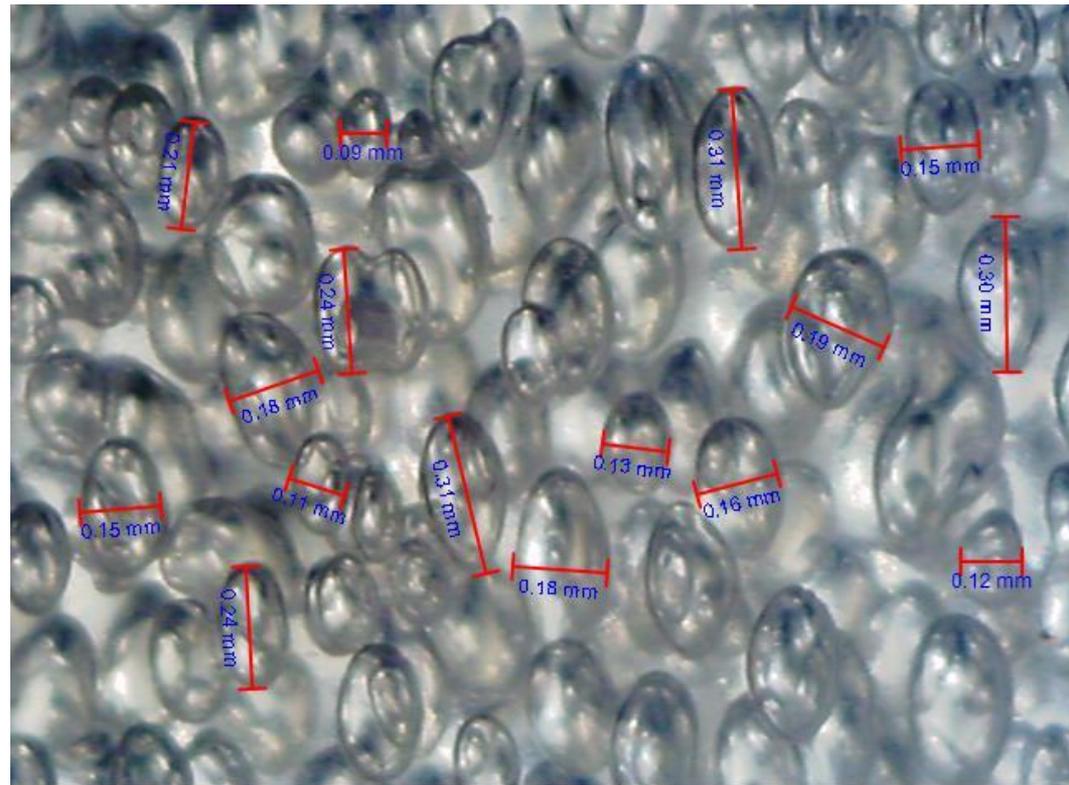
- un polymère dont la résistance à la déformation augmente lorsqu'il est étiré (polymère branché ou greffé par exemple) facilite énormément la stabilisation de la structure.

Processus d'expansion

- Le direct gassing ne permet pas de s'affranchir d'un agent nucléant.
- Les meilleurs résultats sont obtenus avec des agents nucléant actifs, cependant un agent passif (talc....) est souvent suffisant pour obtenir un gain de densité de l'ordre de 20%.

Un exemple

PET feuille avec
0,5 % agent
nucléant actif et
0,7% de CO₂



Conclusion

- A ce jour nous avons mené des essais sur du PP, PEbd, PLA, PS, PET, PVB, et PVC souple.
- Le CRITT peut vous permettre d'essayer le direct gassing sur différentes configurations en extrusion de feuille mono ou multicouche, mais aussi sur des produits types tubes ou profilés et sur des matières très variées.

CRITT POLYMERES

6, Chemin de Ronde
60550 VERNEUIL-EN-HALATTE

Tél : 03.44.28.04.22

Fax : 03.44.28.54.21

E-mail : info@critt-polymeres.fr

Site Web : www.critt-polymeres.fr

Avec le soutien financier de l'Etat et du Conseil Régional Hauts-de-France

