

LES PROCÉDÉS DE FABRICATION

5

INTRODUCTION

Contrairement à une idée reçue, **l'écoconception** ne concerne pas uniquement le design ou les matériaux. Elle **s'applique aussi aux procédés industriels eux-mêmes**. Dans le monde de la plasturgie, ce sont les transformateurs qui sont les plus concernés par cette thématique.

En effet, la manière dont un produit est fabriqué influence directement son empreinte environnementale : consommation de matière et d'énergie, génération de déchets, taux de non-conformités, etc.

Comme toute industrie technique, l'industrie de la plasturgie inclut une multitude de procédés industriels, tels que l'injection moulage, le thermoformage, le soufflage, l'extrusion et le recyclage.

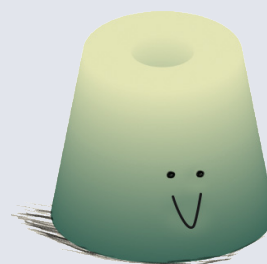
Pour les transformateurs, les procédés constituent donc un levier concret d'action. Ils peuvent ainsi :

- améliorer la performance environnementale de l'étape de production
- contribuer à réduire l'impact global du produit fini de leurs clients
- et renforcer leur compétitivité

Les **stratégies d'optimisation des procédés** sont nombreuses et concernent l'optimisation de la qualité et de la quantité de matière mise en oeuvre, mais également l'optimisation de l'énergie et des auxiliaires (eau, air comprimé).

Ces stratégies vont de l'amélioration de la qualité des matières premières et l'optimisation des formulations, au contrôle qualité, en passant par la réutilisation des déchets, l'intégration de matériaux recyclés et la digitalisation des procédés.

L'écoconception ne concerne pas uniquement le design ou les matériaux ! Elle s'applique aussi aux procédés industriels eux-mêmes !



Les transformateurs ont aussi un rôle à jouer dans la réduction de l'impact global d'un produit mais ils n'agissent pas seuls.

L'optimisation de leurs procédés s'inscrit idéalement dans une logique d'écoconception partagée avec les autres maillons de la chaîne de valeur : concepteurs, producteurs de matières, assembleurs, recycleurs... C'est cette collaboration qui fait naître des solutions les plus efficaces.

Comme évoqué dans la thématique 1, l'écosystème de la plasturgie fonctionne par interdépendances : chaque acteur apportera sa contribution pour améliorer la performance collective.

LES PROCÉDÉS DE FABRICATION

5

FICHE NOTION 1 : La réduction des non-conformités

Les non-conformités entraînent **des pertes matière, des gaspillages énergétiques, des redémarrages coûteux.**

Identifier leurs causes permet de mettre en place des actions ciblées : maintenance, formation, standardisation des procédures, adaptation des moules ou machines, contrôle qualité renforcé...

Réduire les non-conformités est synonyme d'optimisation du procédé de fabrication d'une pièce. Cela commence par une question simple : **quelles sont les spécifications à respecter ?**

Une spécification trop stricte augmente les rebuts et les coûts ; trop lâche, elle risque d'entraîner des réclamations et de nuire à la réputation de l'entreprise.

La clé est de bien cerner les besoins du client et de les traduire en exigences produit adaptées à l'application réelle.

Pour **identifier les causes d'une non-conformité**, il est utile de mobiliser des outils structurants comme le diagramme d'Ishikawa (ou diagramme en arêtes de poisson).

Il permet d'explorer les différentes sources possibles d'un défaut en les regroupant selon cinq grands axes : matières, matériel, méthodes, milieu, et main d'oeuvre — les "5M".

Cette analyse visuelle favorise une compréhension partagée et oriente les plans d'action correctifs. (Vous trouverez un tableau récapitulatif ci-dessous).

Faut-il vraiment suivre de près les non-conformités ?



La **spécification** dépend étroitement de l'usage final du produit. Un défaut visuel toléré sur une pièce technique peut être rédhibitoire sur un élément esthétique, comme un bouchon de parfum.

Adapter les tolérances à l'application, croiser les regards qualité, production et client, et structurer une analyse des causes permettent d'agir là où l'impact est réel — en réduisant à la fois les pertes et les risques.

FICHE NOTION 1
tableau

ORIGINE DES NON-COMFORMITÉS	RECOMMANDATIONS	QUELQUES EXEMPLES
MATIÈRES PREMIÈRES	- Vérifier les matières premières livrées : le nom / le code du produit / le(s) numéro(s) de lots livrés. Contrôler l'état des emballages et les valeurs de propriétés physico-chimiques reprises sur le certificat de qualité. - Contrôler visuellement l'aspect des granulés quant à la présence d'impuretés ou d'humidité superficielle, la régularité de la taille des granulés, l'absence de fines / de cheveux d'anges / de chapelets etc. pour assurer un process stable et conforme. - Vérifier le taux d'humidité de la matière qui doit se situer en dessous d'un certain seuil. Il est recommandé de présécher la résine pendant une durée déterminée et à une température spécifique.	- Si une résine polypropylène « PP XXXX 123 » est livrée à la place d'un « PP XXXX 123 AS » l'additif antistatique manquera dans la formulation, ce qui altère la performance du produit fabriqué. - Si les sacs papier-aluminium du polyamide sont déchirés, l'humidité et des poussières entreront et il y a un risque de fabrication de pièces non-conformes. - Le certificat de qualité indique que l'indice de fluidité du lot de PP (230°C/5kg) est de 5 g/10min alors qu'il est habituellement de 20g/min. Le régleur devra adapter le process. - Une livraison de plusieurs lots à la place d'un seul lot risque de donner plus d'instabilités de process et d'augmenter le taux de produits non-conformes. - Pour certaines matières (polyamides) la présence d'humidité peut générer des défauts de surface sur des pièces plastiques et/ou réduire les performances mécaniques de certains produits.
OUTILS DE PRODUCTION	- Choisir une machine de production adaptée au type de pièce plastique à produire - Assurer la propreté et la maintenance de l'outil de fabrication - Assurer la propreté et une disposition adaptée de l'atelier de fabrication - Vérifier le choix et l'état de fonctionnement de périphériques tels que doseurs, robots, régulateurs d'eau de refroidissement etc.	- L'utilisation d'une presse à injecter d'une force de fermeture insuffisante peut être la cause de pièces plastiques avec des bavures. Une presse à injecter surdimensionnée quant au volume d'injection peut dégrader la matière et être la cause de pièces plastiques cassantes. - Des granulés de couleur restés dans les tuyaux d'alimentation de la ligne d'extrusion vont laisser des trainées colorées sur des plaques acryliques transparentes. - Des thermocouples défectueux de zones de chauffe de l'extrudeuse ou de l'unité de plastification de la presse à injecter ne permettront pas de faire un réglage de process correct. - Pour une presse à injecter située près d'un volet qui s'ouvre régulièrement il sera difficile de maintenir une température de moule constante et donc des conditions de process stables. - Le débit et la température du liquide de régulation d'un moule d'injection influenceront le retrait et la cristallinité de la pièce plastique et donc ses dimensions et ses propriétés mécaniques. - Un robot manipulateur mal réglé pourra griffer les pièces plastiques.
MÉTHODES ET PARAMÈTRES DE PROCESS	La digitalisation joue un rôle dans l'optimisation de ces deux points. Une surveillance et une optimisation du process à l'aide d'outils digitaux peut également contribuer à réduire le taux de non-conformités produites. On peut équiper la ligne de fabrication d'un outil automatisé (online) pour contrôler par exemple le poids des bouteilles soufflées, la couleur d'un film plastique ou l'épaisseur d'une plaque extrudée.	- Assurer un bon planning de fabrication ainsi que le bon ordre des fabrications sur une même machine. - Mettre à disposition de l'opérateur une fiche de fabrication avec le type de produit, la formulation, les conditions process, la quantité de pièces à produire, les spécifications du produit, ainsi que les contrôles de qualité à effectuer par le(s) opérateur(s) de production et ceux à réaliser par le service de contrôle qualité, les aspects critiques de qualité - pièces ou photos montrant des défauts acceptables et non-acceptables -, des informations concernant des problèmes de non-conformités rencontrés lors de fabrications précédentes et les solutions respectives, et la signalisation de réclamations éventuelles. - Décrire la procédure de démarrage de l'outil de fabrication avec la consigne process, le chauffage préalable de l'équipement pendant une durée déterminée, la quantité de produits à écarter au début de production.... Dès que des conditions de process stables sont atteintes un premier échantillon de test pourra être prélevé. Les paramètres de process seront notés. Des écarts seront notés et/ou signalés à un responsable, selon la procédure interne d'application. - Assurer une intervention rapide : tout au long de la fabrication les paramètres process sont surveillés afin de pouvoir intervenir le plus rapidement possible lors d'une anomalie. Une attention particulière sera requise lors d'un changement de lot ou d'un changement de formulation comme par exemple une variation du taux de recyclé, et lors des changements de pauses (d'opérateurs).
CONTRÔLE QUALITÉ	- Mettre en place un système de contrôle qualité adapté pour détecter les non-conformités et pouvoir y remédier le plus rapidement possible. - Définir ce qui doit être contrôlé (les dimensions géométriques d'une pièce injectée ou d'un profil extrudé, la flexibilité d'un joint, l'absence de points noirs sur une plaque transparente, le poids et l'étanchéité d'une bouteille...), le moyen de contrôle adéquat, la procédure et la fréquence de contrôle (des contrôles à des moments clés peuvent s'avérer très utiles : au démarrage de production, lors d'une modification de lot de matière première ou du pourcentage de recyclé introduit, au changement de pause (d'opérateur)), qui effectue le contrôle et comment les résultats sont enregistrés. - Utiliser les analyses statistiques pour tirer des informations pertinentes (variations de qualité lors d'une production, d'une production à l'autre, d'une ligne de fabrication à une autre, etc) qui peuvent contribuer grandement à la compréhension de certaines non-conformités. - Établir une procédure de gestion de non-conformités (qui, quand et comment) et un plan d'actions correctives afin de prévenir la réapparition des non-conformités	- On peut équiper la ligne de fabrication d'un outil automatisé (online) pour contrôler par exemple le poids des bouteilles soufflées, la couleur d'un film plastique ou l'épaisseur d'une plaque extrudée. - On peut demander aux opérateurs de production de faire eux-mêmes certains contrôles comme par exemple la vérification de l'absence de certains défauts visuels. Dans ce cas on veillera que le poste de contrôle soit disponible, bien éclairé et bien équipé. - Certains tests devront être fait par un laboratoire de contrôle de qualité comme par exemple des tests mécaniques. Il est recommandé que la température et l'humidité relative du local soient régulées (ISO 291 : 23°C ± 2°C et 50% ± 5% humidité relative). Cela permet de minimiser les variations dimensionnelles dues à la dilatation thermique et évite que les propriétés mécaniques des plastiques ne soient affectées par une humidité excessive ou insuffisante. Il faut également que les appareils de mesure soient adaptés et calibrés régulièrement.
CONCEPTION DES PIÈCES	En l'absence de ressources internes, faire appel à des experts.	- Des pièces plastiques avec des nervures très fines sont susceptibles de générer des pièces incomplètes lors de l'injection moulage. - Un choix non adéquat de matière première, comme par exemple une résine polyéthylène d'indice de fluidité trop faible, peut également être à l'origine de pièces injectées incomplètes.
FACTEUR « HUMAIN »	Soigner la composition des équipes des départements production, maintenance et contrôle de qualité : le nombre de personnes, leur formation et leur motivation sont des facteurs décisifs !	

LES PROCÉDÉS DE FABRICATION

5

FICHE NOTION 2 : L'optimisation des formulations

Dans beaucoup d'applications l'article plastique n'est pas composé à 100% d'un seul polymère (PE, PP, ABS, PA, etc.).

Souvent la résine est mélangée avec des **additifs** (pigments, stabilisants, etc.), des **charges** (craie, talc, etc.) ou des **renforts** (fibres de verre, fibres naturelles, etc.). On peut également avoir des mélanges de différentes résines ou des **mélanges de matières premières vierges avec des matières premières recyclées**.

La composition

Pour réduire l'impact environnemental des matières utilisées, plusieurs leviers peuvent être activés. Il est possible d'intégrer des **matières biosourcées**, en totalité ou en partie, dans les formulations, ou d'incorporer du **recyclé interne** issu des rebuts de production. L'usage de **matières recyclées certifiées** constitue également une voie pertinente.

Une autre piste consiste à **remplacer certains additifs à fort impact**, comme les pigments ou stabilisants problématiques, par des alternatives plus respectueuses de l'environnement. Ces choix doivent évidemment être validés en fonction de la **compatibilité technique et des performances attendues**.

La formulation doit **rester processable sur les équipements existants** ; des adaptations peuvent s'imposer, par exemple l'ajout d'un doseur dédié pour les matières premières recyclées ou l'ajustement de certains paramètres de procédé.

Mais avant d'optimiser le mélange, il convient de bien maîtriser les impacts de chaque ingrédient composant la formulation de notre produit. Des analyses telle l'ACV permettent d'identifier les impacts de ceux-ci.

Les procédés de mélange

L'opération de mélange peut être réalisée par un compoundeur spécialisé ou directement par le transformateur plastique (injecteur, extrudeur, etc.). Le compoundeur utilise des équipements adaptés — extrudeuses bivis, mélangeurs internes — pour formuler des mélanges complexes et homogènes. Il fournit soit des compounds prêts à l'emploi (par exemple un PA renforcé 30 % fibres de verre), soit des mélanges-maîtres utilisés en plus faible proportion (comme des colorants dosés à 1–5 %).

Le transformateur peut également effectuer le mélange en interne, en introduisant directement les composants via des doseurs dans la trémie d'alimentation. Le mélange s'opère alors dans l'unité de plastification de la presse ou dans l'extrudeuse. Des équipements de prémélange ou de granulation (comme une extrudeuse monovis) peuvent compléter le dispositif.

Dans tous les cas, toute modification de formulation doit être compatible avec l'application finale, tant sur le plan technique que réglementaire. Une modification de formulation peut donc avoir des impacts sur l'ensemble de la chaîne de production qu'il convient d'anticiper.

L'optimisation des formulations est un levier central pour l'écoconception de produits plastiques, car elle agit directement sur l'empreinte environnementale de ceux-ci.

En adaptant les compositions – par l'intégration de matières recyclées ou biosourcées, la substitution d'additifs à fort impact, ou la réduction des pertes – les entreprises peuvent améliorer significativement la performance environnementale tout en maintenant les propriétés fonctionnelles attendues.

Cette démarche s'inscrit dans une logique systémique, qui exige d'arbitrer entre performance, faisabilité industrielle et durabilité. Elle permet d'avancer concrètement vers des produits plus sobres, plus circulaires, et mieux alignés avec les enjeux de transition écologique et réglementaire.

Pour en savoir plus sur l'ACV référez-vous à la thématique Analyse de cycle de vie. Pour en savoir plus sur le choix des matériaux référez-vous à la thématique Choix optimisé des matériaux.

LES PROCÉDÉS DE FABRICATION

5

FICHE NOTION 3 : La réutilisation des déchets de production

Comment mettre en place la réutilisation de mes déchets de production ? Suivez ces 3 étapes

L'analyse du flux des matières et la prévention

La première étape consiste à **analyser les flux de matière** pour identifier les types et quantités de déchets générés : pertes lors du pesage, rebuts liés au procédé (lisières, carottes, ébavurages), déchets de démarrage ou de non-conformités.

En parallèle, il est crucial d'**agir en prévention**, par exemple via des consignes de fabrication claires, une maintenance régulière, ou l'optimisation des phases de démarrage. Des initiatives sectorielles comme Operation Clean Sweep® peuvent également aider à limiter les pertes de granulés.

Les procédures de traitement des déchets

Une fois les flux identifiés, il faut **structurer les procédures de tri et de traitement**. La collecte doit être sélective, propre et traçable (par type de polymère, de formulation, de couleur...). Les déchets peuvent ensuite être broyés, granulés, ou reformulés avec d'autres matières pour être réutilisés, en partie ou en totalité.

Dans certains cas, un traitement complémentaire (séchage, ajout d'additifs) ou un post-traitement (coating, tri qualité) peut être nécessaire pour garantir les performances du produit final.

Le broyage, granulation et reformulation peuvent avoir lieu en interne si le transformateur dispose de l'équipement nécessaire, ou être réalisés par un sous-traitant.

La réutilisation

Enfin, la **réintégration des déchets doit se faire**

de façon progressive et contrôlée. Le taux de réincorporation dépend des contraintes qualité, du type de produit et des performances attendues. Si la réutilisation interne est impossible, une **valorisation externe** (vente à un recycleur) reste envisageable, à condition que le tri et la qualité du flux soient suffisants pour assurer sa reprise.

L'enjeu est double : réduire les pertes et augmenter la résilience économique et environnementale de l'atelier.

La dispersion de granulés plastiques dans l'environnement, notamment dans les milieux aquatiques, est une des sources de microplastiques. Dans un premier délai, des initiatives volontaires comme Operation Clean Sweep® (OCS) stimulaient aux entreprises d'adopter des bonnes pratiques de prévention.

Depuis 2024, le programme de certification 'OCS Certification', désormais obligatoire pour les producteurs de polymères membres de Plastics Europe, permet aux entreprises de se positionner comme 'best in class' dans la prévention des pertes de granulés plastiques dans l'environnement.

Entretemps, l'Union européenne a développé une réglementation spécifique qui vise à prévenir les pertes de granulés plastiques en imposant des plans de gestion des risques couvrant l'ensemble de la chaîne, du conditionnement à la formation du personnel. Les opérateurs manipulant plus de 1 500 tonnes par an devront obtenir une certification indépendante, tandis que les plus petites entreprises bénéficieront de procédures simplifiées. Des exigences spécifiques sont également introduites pour le transport maritime afin de limiter les pertes en mer.

Le règlement a été adopté le 20 octobre 2025. La majorité de ses dispositions commenceront à s'appliquer deux ans après l'entrée en vigueur, sauf dérogations et exemptions spécifiques. Une publication de la réglementation est attendu pour la fin de l'année 2025.

LES PROCÉDÉS DE FABRICATION

5

FICHE NOTION 4 : L'optimisation du procédé pour l'utilisation de matières recyclées

L'équipement doit être adapté pour l'utilisation de matières premières recyclées. Il faudra considérer l'ajout de :

- un doseur supplémentaire pour les matières recyclées
- un doseur adapté pour des granulés/broyés recyclés au débit souhaité.

Des défis comme l'alimentation de broyés de faible densité apparente ou l'élimination d'odeurs devront également être relevés.

Des adaptations au niveau de la trémie d'alimentation ou une possibilité de dégazage devront par exemple être considérées.

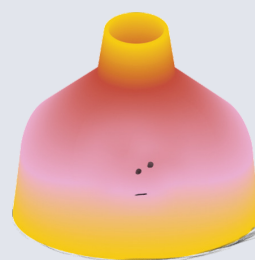
Les matières premières recyclées ayant régulièrement des viscosités plus élevées que les matières vierges, une modification du moule d'injection (et éventuellement du design de la pièce injectée) peut s'avérer nécessaire afin d'éviter des épaisseurs de parois trop fines ou des longueurs d'écoulement trop élevées.

Les **paramètres de process** tels que températures, pressions, débits doivent être adaptés en fonction de la formulation, du taux et de la qualité des matières recyclées.

Des **simulations numériques** pourront aider à trouver les bons paramètres process et ainsi diminuer le nombre d'essais à réaliser.

Une digitalisation du process peut également être bénéfique : par exemple une adaptation des paramètres process en fonction de la viscosité de la matière.

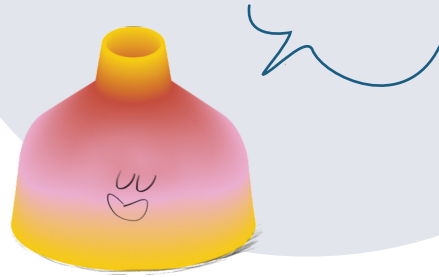
Est-ce vraiment bénéfique d'optimiser les procédés pour utiliser des matières premières recyclées ?



Dans certains cas un **post-process** pourra être requis en cas d'utilisation de MPR. Une qualité de surface non-satisfaisante pourra nécessiter un post-traitement comme un coating.

Pour en savoir plus sur d'autres aspects à considérer lors de l'utilisation des matières recyclées référez-vous à la fiche notion 3 de la thématique Choix optimisé des Matériaux.

L'éco-conception concerne non seulement le produit, mais aussi les procédés de fabrication associés



LES PROCÉDÉS DE FABRICATION 5

INFOGRAPHIE : je passe à l'action

OPTIMISER LES PROCÉDÉS DE FABRICATION

Optimiser les sources :

Optimiser les mélanges *(pour aller plus loin voir fiche notion 2)*

Utiliser des matières premières recyclées *(pour aller plus loin voir fiche notion 4)*

Diminuer les non-conformités :

Optimiser le contrôle qualité *(pour aller plus loin voir fiche notion 1)*

Former les opérateurs de production

Réduire, trier et recycler les déchets de production :

Mettre en place des stations de collecte et de tri de déchets de production

Réutiliser les déchets de production *(pour aller plus loin voir fiche notion 3)*

Assurer la maintenance et l'optimisation du process :

Nettoyer régulièrement l'équipement, les périphériques et l'atelier

Réduire le bruit dans l'atelier de production

Optimiser le planning de production (choix machine, ordre de fabrication...)

Optimiser le démarrage d'équipements (préchauffage...)

Réduire les temps lors de changements de fabrication (changement de moule, purges...)

Optimiser le process, par exemple pour réduire les non-conformités, augmenter le débit

Faire une maintenance préventive des outils de production

Calibrer régulièrement les outils de production (par exemple les doseurs...)

Optimiser le logistique :

Diminuer les emballages, utiliser des emballages recyclés et recyclables

Optimiser la logistique interne en cas de plusieurs halls /sites de fabrication

Équipement :

Mutualiser l'équipement avec un partenaire

Louer un équipement au lieu de l'acheter

Optimiser la consommation d'énergie et de fluides :

Analyser les consommations d'énergie et optimiser

Optimiser les sources d'énergies (récupération d'énergie, utilisation d'énergies renouvelables...)

Analyser les consommations d'eau, d'huiles et optimiser

Isoler thermiquement certaines parties de l'équipement

Adopter la digitalisation :

Surveiller et optimiser le process à l'aide d'outils digitaux

Utiliser des outils de simulation pour optimiser le process

Innover et utiliser des nouvelles technologies (par exemple pour alléger le produit fabriqué...)

Indiquez la temporalité des différentes stratégies :

- en place
- planifier sous 6 mois
- envisageable sous 1an
- non envisageable