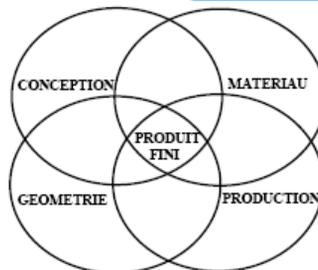


Critères de choix des matériaux

Cahier des techniques de l'ingénieur T 5 100 – Choix et usage des matériaux
 Cahier des techniques de l'ingénieur AM 3 810 – Conception d'un objet
 Cahier des techniques de l'ingénieur A 5 090 – Cahier des charges fonctionnel
 Cahier des techniques de l'ingénieur T 4 100 – Analyse de la valeur

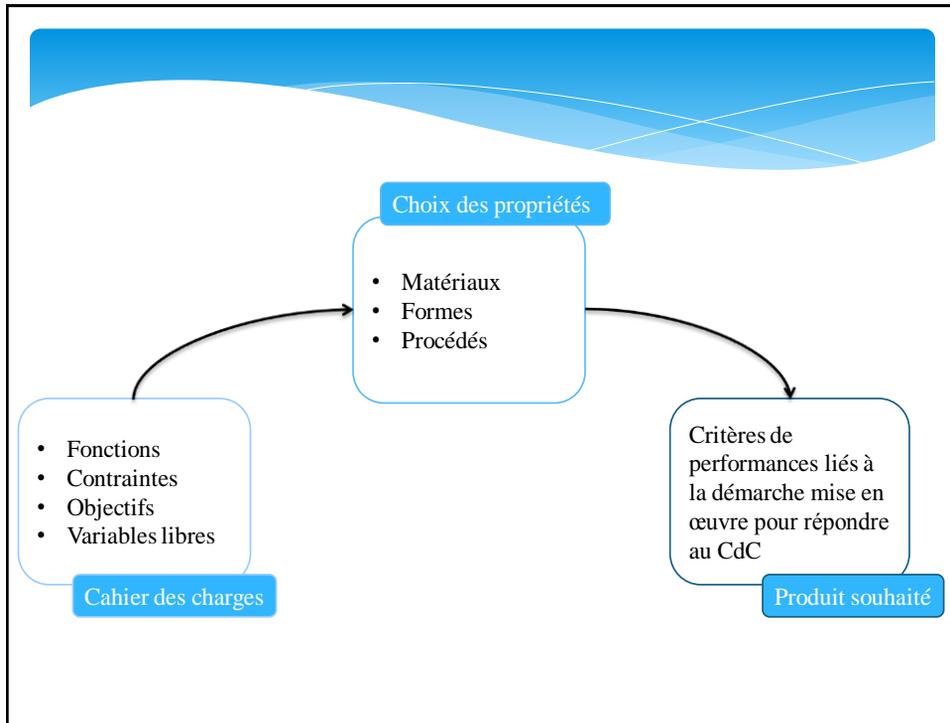
Materials selection in mechanical design, M.F. ASHBY, Pergamon Press.



On estime à **60 000** le nombre de **matériaux** disponibles et à environ **6 000** le nombre de **procédés** possibles ⇒ Disposer d'une **procédure systématique** pour sélectionner le procédé et le matériau le mieux adapté à une fonction ou à une pièce donnée.

La méthode doit permettre d'explicitier de façon objective les requêtes du **cahier des charges** et de comparer la performance de matériaux très différents entre eux pour une fonction donnée (**indices de performance**).

Pour pouvoir choisir efficacement parmi un grand nombre de matériaux et de procédés, il est naturel d'avoir recours à des **banques de données** et à des **logiciels d'aide à la sélection**.

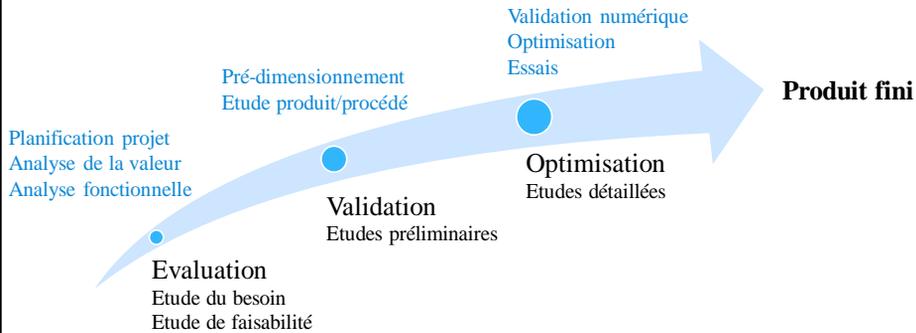


1. La démarche de conception

La démarche de conception d'un produit industriel consiste à développer, à partir d'une idée innovante ou d'un besoin du marché, des concepts qui peuvent potentiellement remplir la fonction demandée.

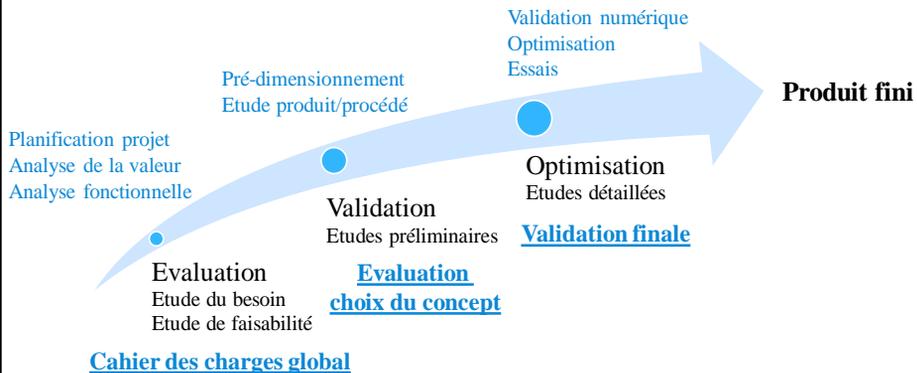
1. La démarche de conception

La démarche de conception d'un produit industriel consiste à développer, à partir d'une idée innovante ou d'un besoin du marché, des concepts qui peuvent potentiellement remplir la fonction demandée.



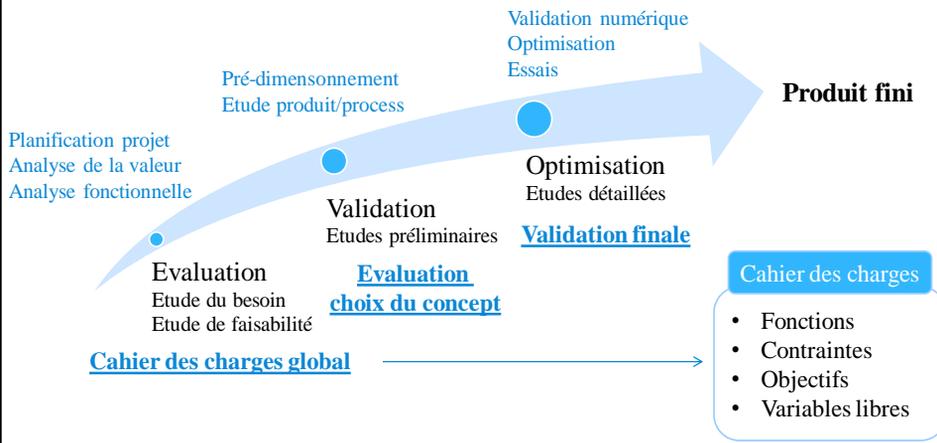
1. La démarche de conception

La démarche de conception d'un produit industriel consiste à développer, à partir d'une idée innovante ou d'un besoin du marché, des concepts qui peuvent potentiellement remplir la fonction demandée.



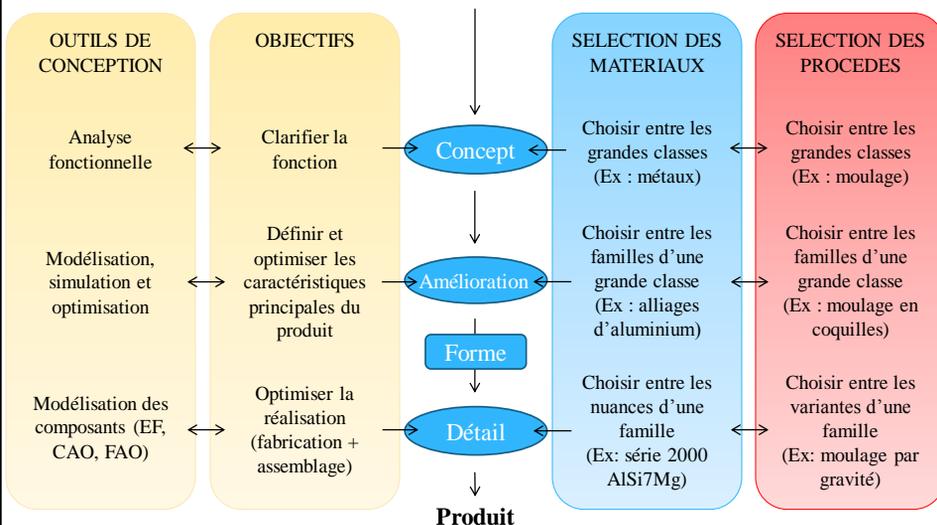
1. La démarche de conception

La démarche de conception d'un produit industriel consiste à développer, à partir d'une idée innovante ou d'un besoin du marché, des concepts qui peuvent potentiellement remplir la fonction demandée.



1. Conception d'un produit et démarche de sélection matériaux /procédés

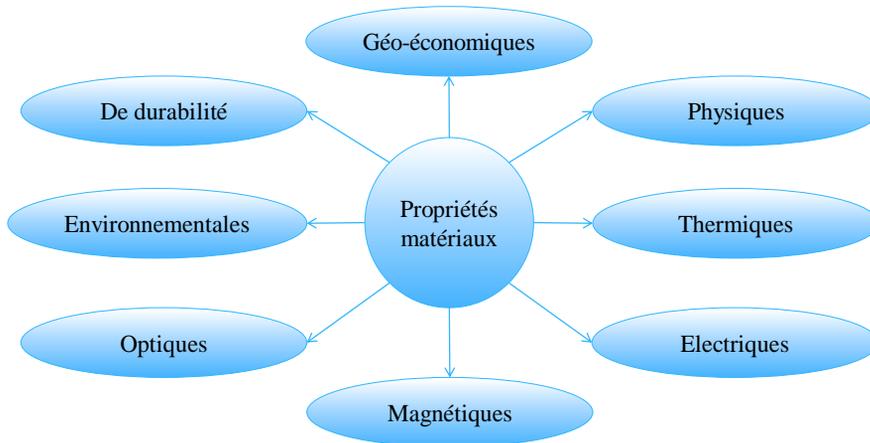
BESOIN DU MARCHE



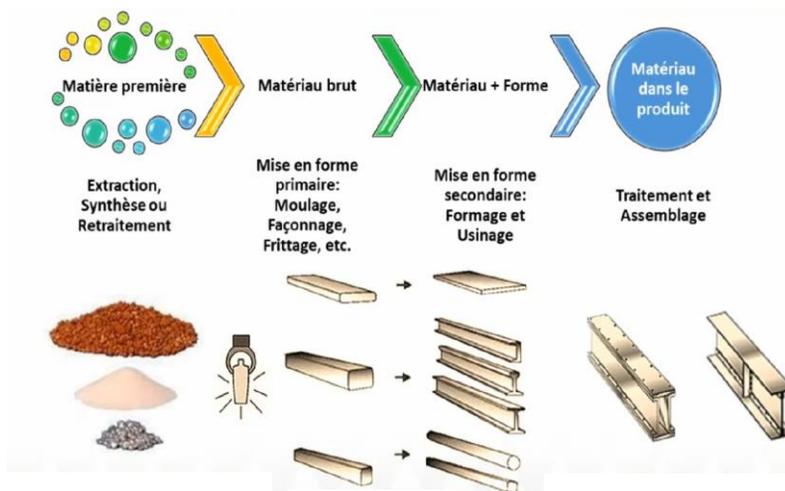
1. Propriétés des matériaux

Quantitatives : chiffrées, mesurables

Qualitatives : booléennes, descriptives, non mesurables



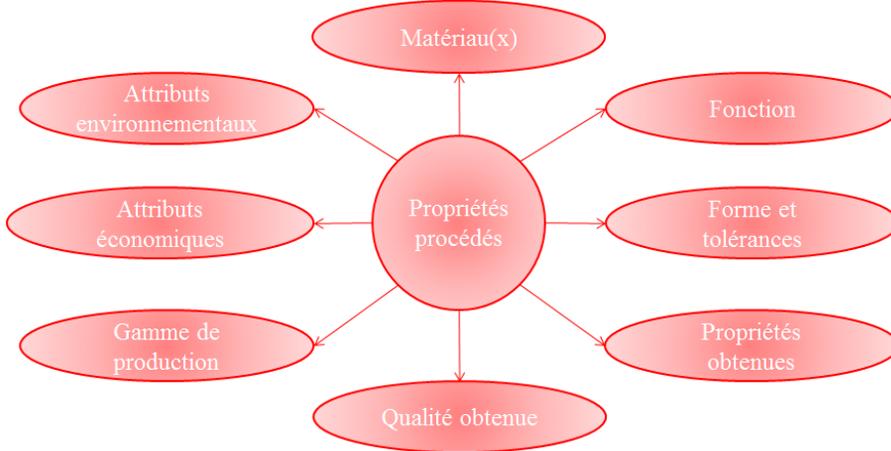
1. Propriétés des procédés



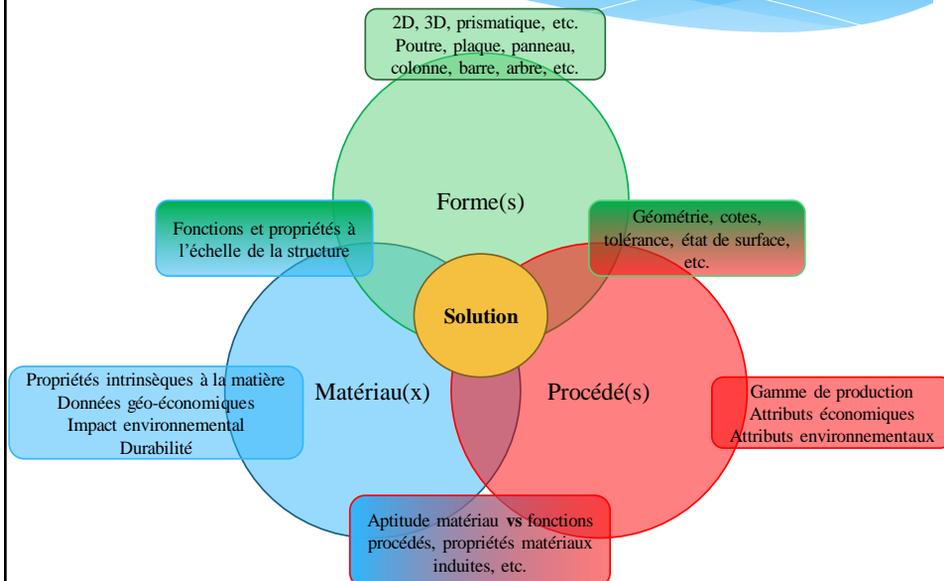
1. Propriétés des procédés

Quantitatives : chiffrées, mesurables

Qualitatives : booléennes, descriptives, non mesurables

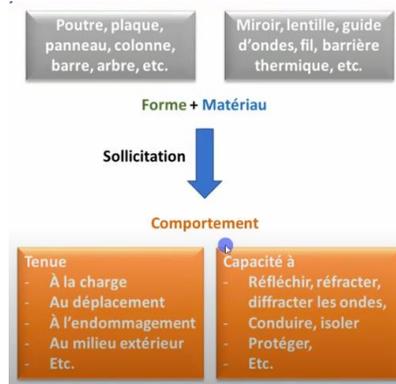


1. La démarche de sélection : la forme



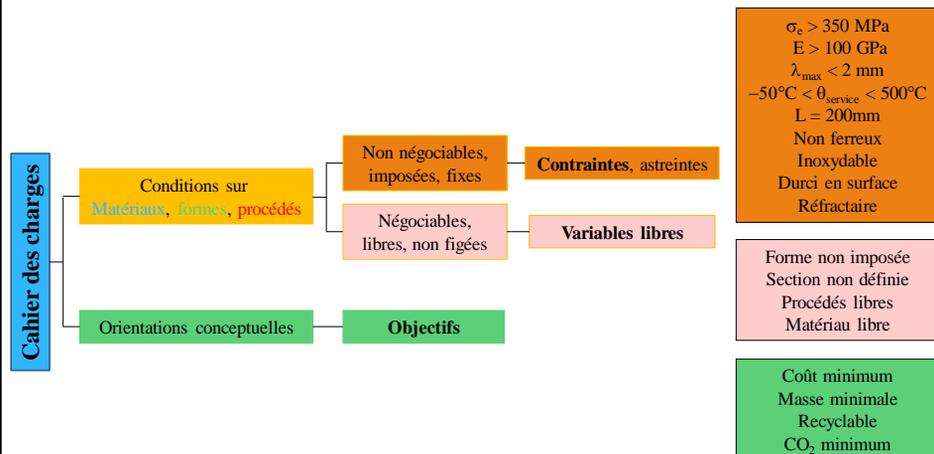
2. Traduction du cahier des charges

- **Fonction** : ce que doit accomplir le matériau, composant ou produit
 - pour le matériau, la fonction est assurée par les propriétés de la matière, associées généralement à la forme (vision structurelle du matériau)
 - pour le composant ou le produit, la fonction est assurée par les propriétés combinées des matériaux assemblés (structure élémentaire ou complexe)



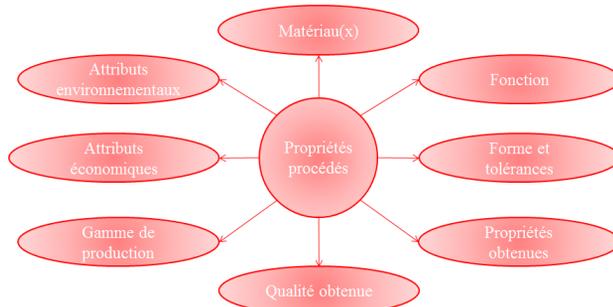
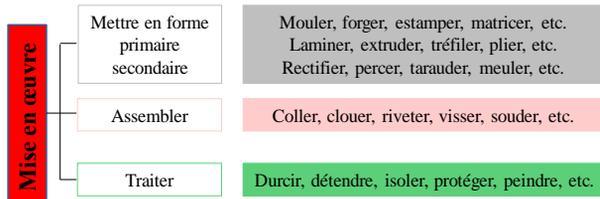
2. Traduction du cahier des charges

- **Contraintes, objectifs et variables libres associée au matériau** :



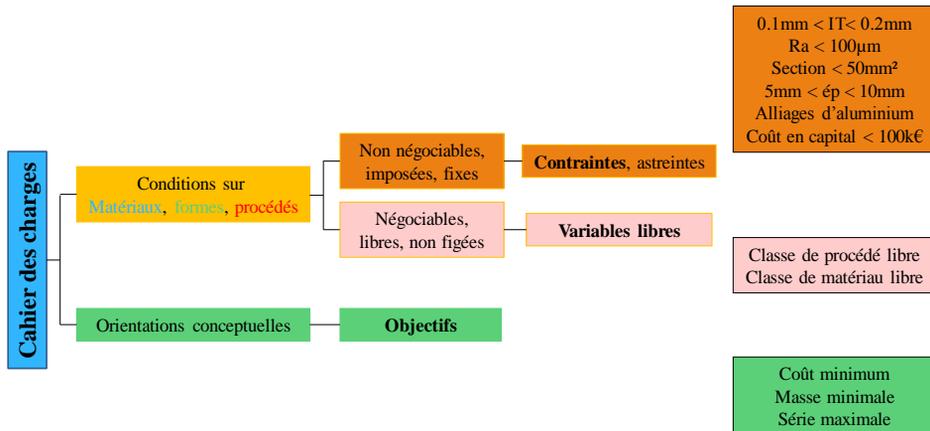
2. Traduction du cahier des charges

- Fonctions associées à la mise en œuvre :

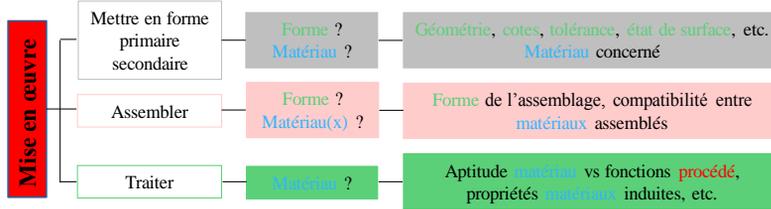


2. Traduction du cahier des charges

- Contraintes, objectifs et variables libres associée au procédé :



2. Procédure de sélection : interactions matériaux/procédés/forme



Formes liées au procédé :

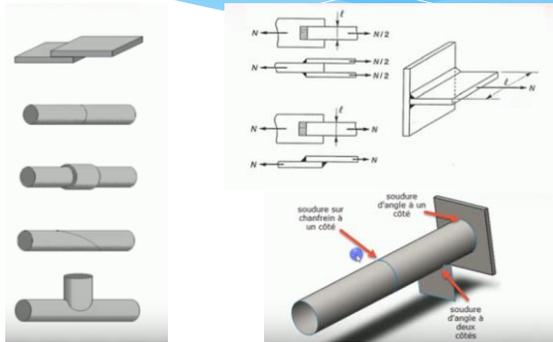
- classement par dimensions : 1D : poteau, tuyau, gouttière, mât
2D : plaque, tôle, vitre, boîte, canette
3D : culasse, bielle, engrenage, profilé
- classement par types : prismatiques, non prismatiques 2D et 3D



2. Procédure de sélection : interactions matériaux/procédés/forme

Formes liées à l'assemblage :

- recouvrement:
- bout à bout
- emmanchement
- en écharpe
- en T

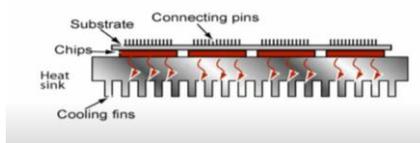


Fonctions liées au traitement :

- modifications des propriétés matériau ? (traitements thermiques, thermo-chimique, mécaniques, dopage, etc.)
- ajout d'une propriété par apport d'un matériau tiers (revêtement, traitement électrochimique, etc.)
- Action sur l'esthétique (peinture, bandeau, stickers, etc.)

2. Exemple de traduction d'un cahier des charges pour les matériaux

Radiateur thermique pour le refroidissement d'un processeur électronique : un client souhaite choisir un matériau pour un radiateur thermique, qu'il a préalablement dessiné et dimensionné, pour refroidir des processeurs. Lors de la discussion avec le client, on apprend que le processeur ne doit pas travailler dans un environnement où la température est supérieure à 200°C, et que pour un bon refroidissement du processeur, il faut que le matériau du radiateur présente une conduction thermique supérieure à 25 W/m.°C.

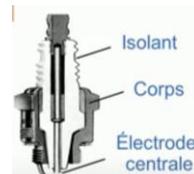


- **Fonction** : évacuer la chaleur d'un composant électronique
- **Contraintes** : de façon explicite, le matériau doit être un conducteur thermique, avec une conduction thermique $> 25 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ + le radiateur doit admettre dans sa température maximale de service 200°C + la forme est imposée par le client + non explicitées : il faut un matériau isolant électrique pour éviter les court-circuit
- **Objectifs** : rien d'explicite
- **Variables libres** : le matériau, et le procédé, en respectant les contraintes ; la forme est, elle, imposée.

2. Exemple de traduction d'un cahier des charges pour les procédés

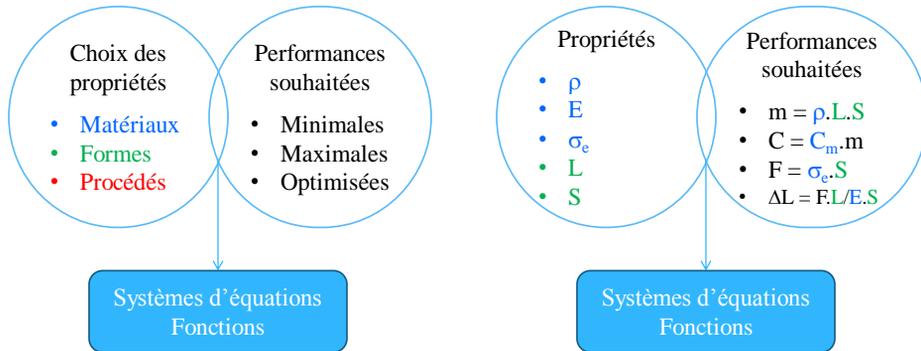
Mise en forme d'isolant de bougie : dans une entreprise fabriquant des bougies d'allumage, une machine permettant de fabriquer les isolants des bougies vient de tomber en panne. Le client souhaite revoir sa ligne de production incluant ces isolants, et trouver un moyen de production qui pourrait remplacer celui qui est en panne, tout en minimisant le coût de production..

L'isolant à mettre en forme est un composant en alumine, d'une masse proche de 50g, avec une section d'épaisseur comprise entre 3 et 5 mm. Les tolérances dimensionnelles imposées doivent être inférieures à 0.5 mm, avec une rugosité inférieure à 100µm. La série de production est d'au minimum 2 000 000 de pièces.



- **Fonction** : mettre en forme des isolants
- **Contraintes** : matériau imposé (alumine) et forme de la pièce imposée + une masse de 50g, une épaisseur comprise entre 3 et 5 mm, des tolérances dimensionnelles $> 0.5\text{mm}$ et une rugosité $< 100\mu\text{m}$ + série minimale de 1 000 000 de pièces
- **Objectifs** : minimiser le coût de production
- **Variables libres** : procédé (matériau et forme imposés)

2. Procédure de sélection : méthode des indices de performance



2. Procédure de sélection : indice simple à une seule propriété



Visière de protection pour motocyclistes

Contraintes

- Transparent – de qualité optique
- Capacité à être moulé

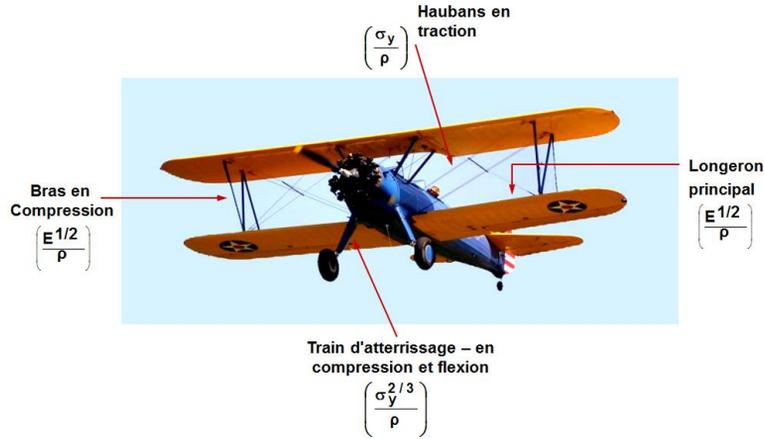
Objectif : aussi tenace que possible

Indice de performance : ténacité K_{Ic}
À maximiser

Objectif alternatif : le moins cher possible

Indice de performance : coût de matériau C_m
À minimiser

2. Procédure de sélection : indice combinant les propriétés



E = Module d'Young
 rho = Densité
 sigma_y = Limite élastique

2. Mise en œuvre de la méthode des indices de performance

<p>1 - Traduction du CdC pour définir l'ensemble des données et quantités nécessaires</p>	<p>2 - Ecriture des équations de dimensionnement et des critères de performances liés au objectifs</p>	<p>3 - Vérification du système d'équations</p>	<p>4 - Dissociation des données libres / imposées dans les équations de performance</p>	<p>5 - Extraction des indices de performance</p>
<p>Fonctions Contraintes Objectifs Variables libres</p>	<p>Données utiles à leur définition Optimisation souhaitée (minimisation ou maximalisation)</p>	<p>Remonter aux inconnues les plus « basiques » Vérifier que nombre d'équations = nombre d'inconnues Si non, supprimer / imposer des inconnues ou des équations (retour étape 2)</p>	<p>Conservier les quantités imposées et les constantes Paramétrer les quantités libres non matériaux Réitérer jusqu'à remplacer toutes ces quantités libres (si besoin, ajouter des équations à l'étape 2)</p>	<p>Isoler les quantités imposées et les constantes pour définir une fonction imposée non négociable Isoler les quantités libres matériaux pour définir une fonction d'optimisation Utiliser la fonction d'optimisation comme indice de performance de l'objectif ciblé</p>
<p>Tirant de longueur L connue devant résister en élasticité à un effort de traction F, à un coût C minimal</p>		<p>$F = \sigma_e \cdot S$ $C = C_m \cdot \rho \cdot L \cdot S$</p>	<p>$C = C_m \cdot \rho \cdot L \cdot S \cdot F / \sigma_e$</p>	<p>$C = (L \cdot F) \cdot (C_m \cdot \rho / \sigma_e)$ $C \Leftrightarrow C_m \cdot \rho / \sigma_e$</p>
<p>F : résister à la traction C : force F, longueur L O : coût C minimal VL : surface S, matériau, procédé</p>		<p>Dimensionnement</p>	<p>←</p>	<p>Choix Matériau</p>

2. Mise en œuvre de la méthode des indices de performance

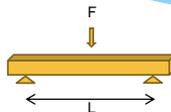
Dimensionnement :
Longueur L imposée
Section S libre



Fonction	Contraintes	Objectif	Variables libres	Résultat
	F, L	Minimiser la masse m	Matériau, forme, procédé	
Assurer la résistance en élasticité à un effort de traction F	$F = \sigma_c \cdot S$	$m = \rho \cdot L \cdot S$	$\sigma_c, \rho, S, \text{procédé}$	$m = \rho \cdot L \cdot F / \sigma_c$ $I_1 = \rho / \sigma_c$
Contrôler l'allongement élastique sous un effort de traction F	$F/\Delta L = k = E \cdot S / L$	$m = \rho \cdot L \cdot S$	$\sigma_c, \rho, S, \text{procédé}$	$m = \rho \cdot L \cdot k \cdot L / E$ $I_2 = \rho / E$

2. Mise en œuvre de la méthode des indices de performance

Dimensionnement :
Longueur L imposée
Section S libre, mais carrée de côté c



Fonction	Contraintes	Objectif	Variables libres	Résultat
	F, L	Minimiser la masse m	Matériau, forme, procédé	
Assurer la résistance en élasticité à un effort de flexion F	$\sigma_f = M_f \cdot y / I_x$ $\sigma_f = 0.5 \cdot c \cdot F \cdot L / (4 \cdot c^4 / 12)$ $\sigma_f = C_1 \cdot F \cdot L / S^{3/2}$	$m = \rho \cdot L \cdot S$ $S^{3/2} = C_1 \cdot F \cdot L / \sigma_f$ $S = (C_1 \cdot F \cdot L / \sigma_f)^{2/3}$	$\sigma_c, \rho, S, \text{procédé}$	$m = \rho \cdot L \cdot (C_1 \cdot F \cdot L / \sigma_f)^{2/3}$ $I_3 = \rho / \sigma_f^{3/2}$
Contrôler la flèche élastique sous un effort de flexion F	$y^{>>} = M_f \cdot E \cdot I_x$ $y^{>>} = F \cdot L / (4 \cdot E \cdot I_x)$ $y_{\max} = \lambda = F \cdot L^3 / (48 \cdot E \cdot I_x)$ $F = (48 \cdot E \cdot I_x / L^3) \cdot \lambda$ $F/\lambda = (C_2 \cdot E \cdot S^2 / L^3) = k_f$	$m = \rho \cdot L \cdot S$ $S^2 = k_f \cdot L^3 / (C_2 \cdot E)$ $S = (k_f \cdot L^3 / (C_2 \cdot E))^{1/2}$	$\sigma_c, \rho, S, \text{procédé}$	$m = \rho \cdot L \cdot (k_f \cdot L^3 / (C_2 \cdot E))^{1/2}$ $I_4 = \rho / E^{1/2}$

2. Mise en œuvre de la méthode des indices de performance

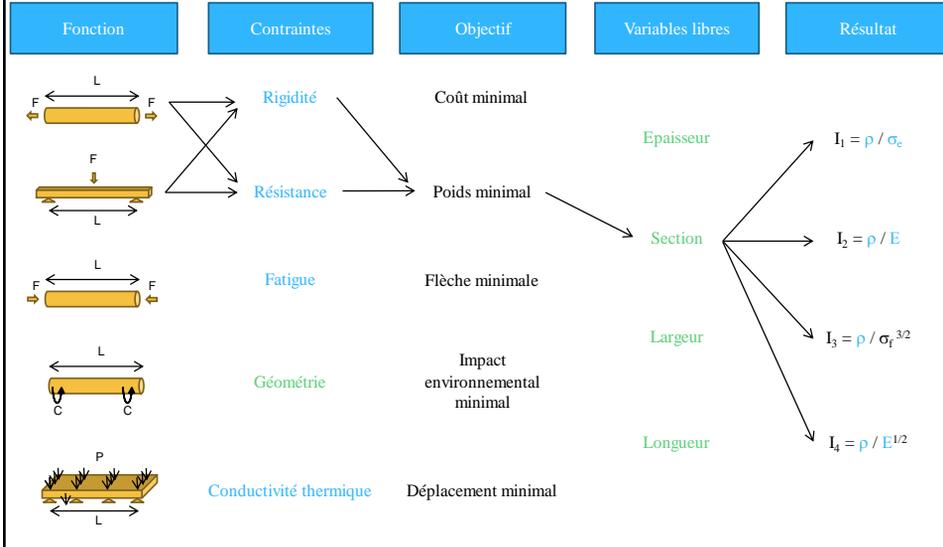


Tableau 1 – Indices de performance en rigidité à masse minimale

Fonction et contrainte	Indice de performance (1) (2)
Barre de traction Rigidité et longueur spécifiées, section libre	E/ρ
Arbre de torsion Rigidité, longueur et forme spécifiées, section libre	$G^{1/2}/\rho$
Rigidité, longueur, rayon externe spécifiés, épaisseur libre	$G^{1/2}/\rho$
Rigidité, longueur, épaisseur spécifiées, rayon externe libre	$G^{1/3}/\rho$
Poutre en flexion Rigidité, longueur, forme spécifiées, section libre	$E^{1/2}/\rho$
Rigidité, longueur, hauteur spécifiées, largeur libre	E/ρ
Rigidité, longueur, largeur spécifiées, hauteur libre	$E^{1/3}/\rho$
Colonne soumise au flambement Longueur, charge, forme spécifiées, section libre	$E^{1/2}/\rho$
Plaque en flexion Rigidité, longueur, largeur spécifiées, épaisseur libre	$E^{1/3}/\rho$
Plaque en compression Charge, longueur, largeur spécifiées, épaisseur libre	$E^{1/3}/\rho$
Cylindre sous pression interne Pression, rayon, distorsion élastique spécifiés, épaisseur libre	E/ρ
Coquille sphérique sous pression Pression, rayon, distorsion élastique spécifiés, épaisseur libre	$E/(1-\nu)\rho$

(1) Pour avoir les indices à coût minimal et à volume minimal, il suffit de remplacer ρ masse volumique par $\rho \cdot C$ ou par 1 respectivement.
 (2) G = module de cisaillement C = coût E = module d'élasticité.

Tableau 2 – Indices de performance en solidité à masse minimale

Fonction et contrainte	Indice de performance (1) (2)
Barre de traction Solidité et longueur spécifiées, section libre	R_e/ρ
Arbre de torsion Solidité, longueur et forme spécifiées, section libre	$R_e^{2/3}/\rho$
Solidité, longueur, rayon externe spécifiés, épaisseur libre	R_e/ρ
Solidité, longueur, épaisseur spécifiées, rayon externe libre	$R_e^{1/2}/\rho$
Poutre en flexion Solidité, longueur, forme spécifiées, section libre	$R_e^{2/3}/\rho$
Solidité, longueur, hauteur spécifiées, largeur libre	R_e/ρ
Solidité, longueur, largeur spécifiées, hauteur libre	$R_e^{1/2}/\rho$
Colonne soumise au flambement Longueur, charge, forme spécifiées, section libre	R_e/ρ
Plaque en flexion Rigidité, longueur, largeur spécifiées, épaisseur libre	$R_e^{1/2}/\rho$
Plaque en compression Charge, longueur, largeur spécifiées, épaisseur libre	$R_e^{1/2}/\rho$
Cylindre sous pression interne Pression, rayon, distorsion élastique spécifiés, épaisseur libre	R_e/ρ
Coquille sphérique sous pression Pression, rayon, distorsion élastique spécifiés, épaisseur libre	R_e/ρ
Volants d'inertie Energie cinétique par unité de volume maximale, vitesse imposée	ρ
Energie cinétique par unité de masse maximale, pas de rupture	R_e/ρ

(1) Pour avoir les indices à coût minimal et à volume minimal, il suffit de remplacer ρ masse volumique par $\rho \cdot C$ ou par 1 respectivement.
 (2) C = coût R_e = limite d'élasticité.

Tableau 3 – Indices de performance en tolérance au dommage	
Fonction et contrainte	Indice de performance ⁽¹⁾
Barre de traction	
Maximiser la tolérance au défaut, contrôle en charge	K_{Ic} et R_e
Maximiser la tolérance au défaut, contrôle en déplacement	K_{Ic}/E et R_e
Maximiser la tolérance au défaut, contrôle en énergie	K_{Ic}^2/E et R_e
Arbre de torsion	
Maximiser la tolérance au défaut, contrôle en charge	K_{Ic} et R_e
Maximiser la tolérance au défaut, contrôle en déplacement	K_{Ic}/E et R_e
Maximiser la tolérance au défaut, contrôle en énergie	K_{Ic}^2/E et R_e
Poutre en flexion	
Maximiser la tolérance au défaut, contrôle en charge	K_{Ic} et R_e
Maximiser la tolérance au défaut, contrôle en déplacement	K_{Ic}/E et R_e
Maximiser la tolérance au défaut, contrôle en énergie	K_{Ic}^2/E et R_e
Cylindre sous pression interne	
Plastification avant rupture	K_{Ic}/R_e
Fuite avant rupture	K_{Ic}^2/R_e
(1) K_{Ic} : facteur d'intensité de contrainte en $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$. E : module d'élasticité. R_e : limite d'élasticité.	

2. Utilisation des indices de performance : cartes de sélection

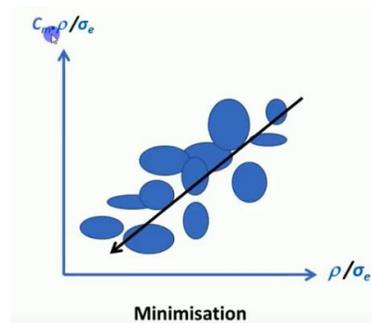
Les cartes de sélection offrent une utilisation très visuelle des indices de performance, et malgré leur caractère approximatif, permettent souvent un premier « débroussaillage » du problème.



Fonction : résister à la contrainte
 Contraintes : F , L imposées
 Objectifs : **minimiser** le coût (I_1) et la masse (I_2)

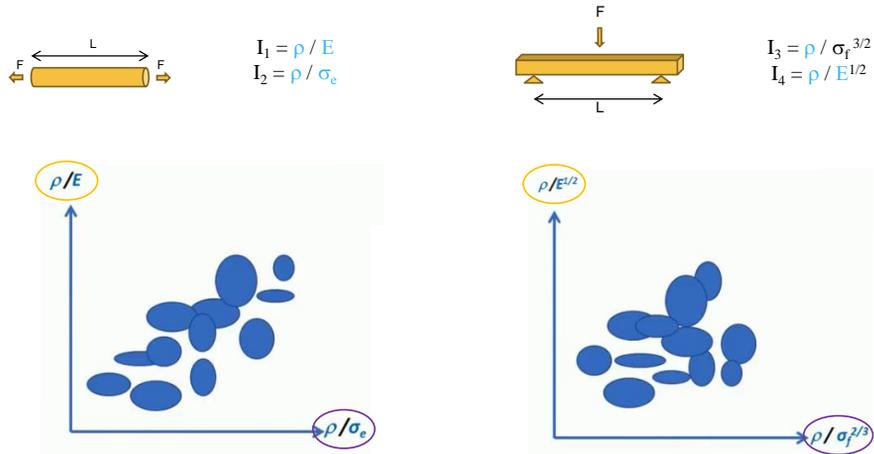
$$I_1 = C_m \cdot \rho / \sigma_e$$

$$I_2 = \rho / \sigma_e$$



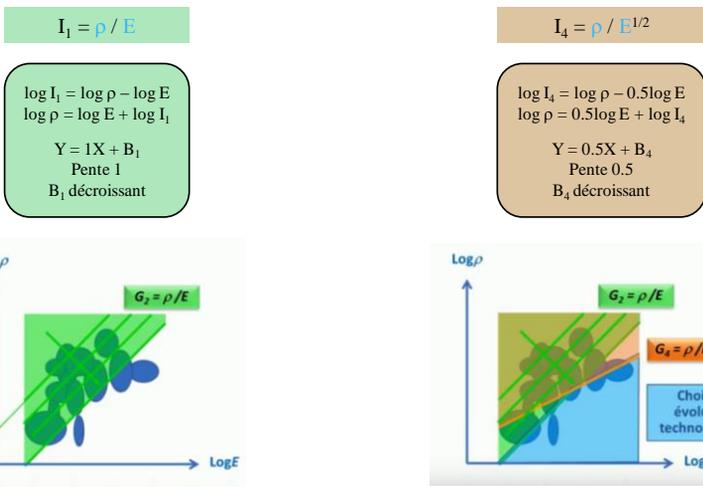
2. Utilisation des indices de performance : cartes de sélection

Plan de visualisation **métrique** :



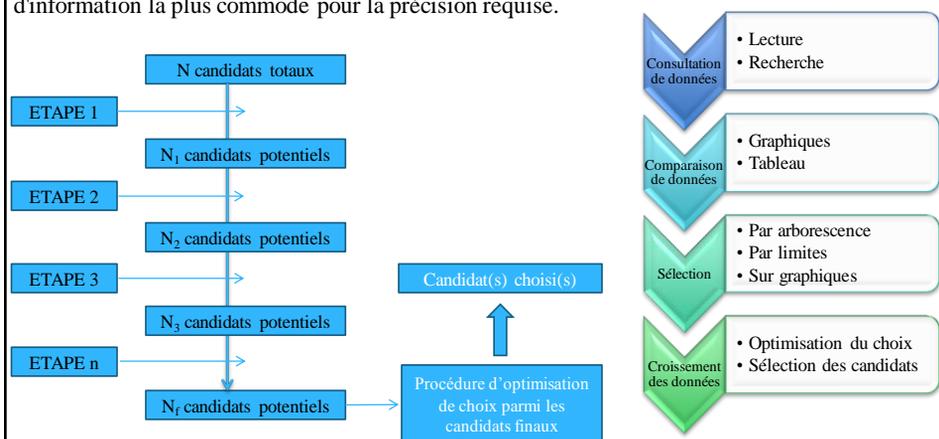
2. Utilisation des indices de performance : cartes de sélection

Plan de visualisation **métrique** :



3. Sources et banques de données

La nature et la **précision des données** requises dans la procédure de conception et dans les différentes étapes de sélection des matériaux **varient considérablement suivant le degré d'avancement dans la procédure**. À chaque étape, il conviendra donc de sélectionner la source d'information la plus commode pour la précision requise.



3. Sources et banques de données

Les sources d'information sont traditionnellement données par livres, catalogues et fiches techniques de fournisseurs. De plus en plus, ces données existent maintenant sous forme de banques de données informatisées consultables en ligne (payantes ou non) :

- Généralistes : Matweb, Matdata (de CES Design), Azom, www.materio.com (payant), etc.
- Spécialisées :
 - matériau type platine : PGM Database
 - polymères : PolyInfo, Omnexus, Campus Plastics GEM (materiautech), etc.
 - semi-conducteurs : NSM Archive
 - aciers : Construire Acier (anciennement OTUA), etc.
 - alliages d'Al et non-ferreux : Euralliage, etc.
- Revues spécialisées : emballedigest
- Matériautechs/ Innovatechs : innovatechs
- Centre techniques d'informations et de tests : Cetim, www.cetiba.tn (Batiment)

3. Systèmes d'aide à la sélection

Un système informatique d'aide à la sélection des matériaux comporte bien sûr une **banque de données** :

- soit sur un ensemble très vaste de matériaux,
- soit au contraire sur une classe très étroite de matériaux sur laquelle on aura des données beaucoup plus précises.

Mais c'est aussi un **système de sélection**, c'est-à-dire qu'il est capable *a priori* d'explorer cette base de données en utilisant pour guide des critères de sélection.

Ces critères peuvent relever de l'archivage de connaissances ; c'est le cas des logiciels conçus pour la promotion d'un matériau : ils proposent de faire une recherche de matériau par **application**.

On peut aussi explorer la base de données à partir des **propriétés** des matériaux ; c'est le cas de la plupart des systèmes qui proposent une aide à la sélection : on cherchera par exemple les alliages qui ont une limite d'élasticité supérieure à 250 MPa.

3. Systèmes d'aide à la sélection : logiciels matériau / procédés

Deux systèmes leaders permettent une sélection non seulement à partir des propriétés matériaux, mais aussi à partir des **indices de performance**:

- Le **logiciel CES Granta** (CES Edupack, CES Selector, Granta MI,...), développé à Cambridge, permet, à partir d'une banque de données de matériaux, de tracer les cartes de sélection appropriées au problème considéré : sur les axes on peut indiquer des propriétés, des indices de performance, des caractéristiques qualitatives des matériaux (soudabilité, tenue à la corrosion...) et on peut effectuer avec l'ordinateur des sélections en série, mettant en jeu de multiples critères.
- Le **logiciel Fuzzymat**, développé à Grenoble, est complémentaire du *CES Granta*, en ce sens qu'il s'attache à gérer les problèmes de sélection multicritère, tout en permettant d'aider à la pondération des critères de sélection. La spécificité informatique du logiciel *Fuzzymat* est de permettre par une technique de **logique floue** de gérer la possibilité de renoncer à certaines exigences si l'on peut gagner sur d'autres performances ; cette possibilité est particulièrement utile en sélection de matériaux où tout est affaire de compromis.

On peut ajouter à ces deux logiciels, d'autres logiciels tels que TotalMateria, ou des logiciels spécifiques de certains corps de métiers.

3. Aide à la sélection : logiciel CES Edupack

Présentation sur les matériaux et les procédés d'introduction. Les élèves découvrent les propriétés de matériaux et de procédés incontournables. Ils produisent par la suite vers un outil couvrant plus de 2.000 matériaux qui leur permet de réaliser des projets. CES Edupack contient : des sections, des images de matériaux et de procédés, des applications typiques, des données complètes sur les propriétés des matériaux, des recommandations pour la conception, des propriétés environnementales et de durabilité, des notes techniques, etc.

Notes scientifiques
Explications présentées sur le même format qu'un manuel scolaire, faisant référence à des ouvrages d'auteurs tels que Ashby, Ashby&Callias, Shackelford, etc.

Module de Young - Masse Volumique
Graphiques interactifs des propriétés matériaux
Un outil unique permettant de comparer et d'analyser les propriétés, et de sélectionner des matériaux et des procédés.

Resources Pedagogiques en ligne
Cours,
Exercices,
Projets / Etude de Cas,
Vidéos,
Posters,
Livres Blancs,
Etc.

L'outil Eco-Audit
L'outil Eco-Audit Avancé facile à utiliser vous aide à faire découvrir aux étudiants les concepts-clés de l'ingénierie durable. Il permet de calculer rapidement l'empreinte carbone et l'énergie grise d'un produit pendant les différentes phases de son cycle de vie. Vous pouvez rapidement créer des illustrations pour vos cours, les utiliser pour les projets étudiants, et favoriser l'exploration de différents scénarios de conception. L'Edition Eco Design contient la version Avancée de l'Eco-Audit qui permet d'intégrer un procédé secondaire d'usage ainsi que des procédés d'assemblage et de finition.

Glass Bottle Image here?

Energie (MJ)

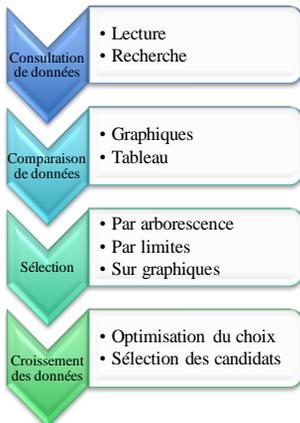
Material	Manufacture	Transport	Use	Disposal	ECI potential
Product PET bottle	-100	% Change	+100	0%	+40%
Product Glass bottle	-100	% Change	+100	0%	+40%

Empreinte Carbone (kg)

Material	Manufacture	Transport	Use	Disposal	ECI potential
Product PET bottle	-100	% Change	+100	0%	+40%
Product Glass bottle	-100	% Change	+100	0%	+40%

www.grantadigital.com/fr/calculer/taux-grantadigital.com
grantadigital.com/taux-grantadigital.com
© 2012 Grant Design Limited & CES Edupack est une marque déposée de Grant Design Limited

3. Aide à la sélection : logiciel CES Edupack



3. Aide à la sélection : logiciel CES Edupack

Consultation de données

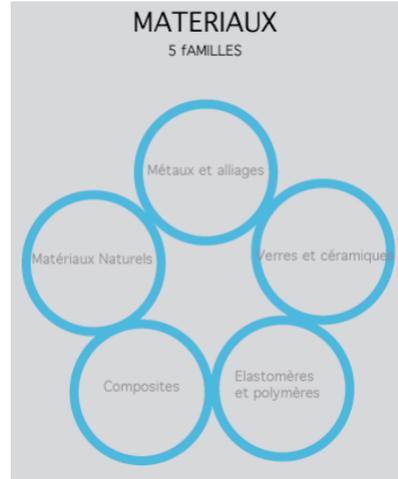
- Lecture
- Recherche

Fiche matériau / procédé

Description et informations textuelles générales

Propriétés

Description et informations textuelles spécifiques



3. Aide à la sélection : logiciel CES Edupack

Consultation de données

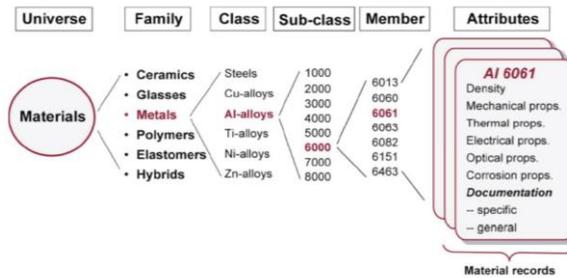
- Lecture
- Recherche

Fiche matériau / procédé

Description et informations textuelles générales

Propriétés

Description et informations textuelles spécifiques



3. Aide à la sélection : logiciel CES Edupack

Consultation de données

- Lecture
- Recherche

Fiche matériau / procédé

Description et informations textuelles générales

Propriétés

Description et informations textuelles spécifiques

Aluminum, 6061, T4

Disposition : All attributes Afficher/Masquer

Metals and alloys > Non-ferrous > Aluminum > Wrought > 6000 series (Mg and Si-alloyed) > 6061 >

General information

Designation ①

6061, wrought

Condition ① T4 (Solution heat-treated and naturally aged to a substantially stable condition)

UNS number ① A96061

EN name ① EN AW-6061 (EN AW-Al Mg1SiCu)

EN number ① 3.3211

Typical uses ①

Trucks, towers, canoes, railroads cars, furniture, pipelines, and other structural applications where strength, weldability, and corrosion resistance are needed

Composition overview

Compositional summary ①

A96-99 / Mg0.8-1.2 / Si0.4-0.8 / Cu0.15-0.4 / Cr0.04-0.35 (impurities: Fe<0.7, Zn<0.25, Mn<0.15, Ti<0.15, Other<0.15)

Material family	① Metal (non-ferrous)
Base material	① Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	① * 95.8	-	96.6	%
Cr (chromium)	① 0.04	-	0.35	%
Cu (copper)	① 0.15	-	0.4	%
Fe (iron)	① 0	-	0.7	%
Mg (magnesium)	① 0.8	-	1.2	%
Mn (manganese)	① 0	-	0.15	%
Si (silicon)	① 0.4	-	0.8	%
Ti (titanium)	① 0	-	0.15	%
Zn (zinc)	① 0	-	0.25	%
Other	① 0	-	0.15	%

3. Aide à la sélection : logiciel CES Edupack

Consultation de données

- Lecture
- Recherche

Fiche matériau / procédé

Description et informations textuelles générales

Propriétés

Description et informations textuelles spécifiques

Extrait d'une fiche de matériau : le polypropylène

Polypropylène (PP) (CH₂-CH(CH₃))_n

Le polypropylène, PP, dont la première production commerciale date de 1958, est le frère cadet du polyéthylène - une molécule très semblable avec un prix, des méthodes de mise en œuvre et des applications très similaires. Comme le PE, il est produit en très grandes quantités (plus de 30 millions de tonnes par an en 2000), avec un taux de croissance de presque 10% par an. Comme le PE également, la longueur de sa molécule et ses ramifications latérales peuvent être ajustés par une catalyse intelligente, donnant un contrôle précis de sa résistance à l'impact et des propriétés qui influencent son aptitude à être moulé ou extrudé. Mais sa forme pure, le polypropylène est inflammable et se dégrade à la lumière solaire. Des stabilisateurs peuvent résister sa combustion et des stabilisateurs lui donner une très bonne stabilité tant aux rayonnements UV qu'à l'oxydation ou même aux plus agressives solutions aqueuses.



Propriétés Générales	Densité 990 - 910 kg/m ³	Propriétés Thermiques	Conducteur ou isolant thermique ? Bon isolant
	Prix 1.102 - 1.61 USD/kg	Conductivité thermique 0.113 - 0.167 W/m.K	Coefficient de dilatation 122.4 - 150 1/1000/K
Propriétés Mécaniques	Module de Young 0.996 - 1.55 GPa	Chaleur spécifique 1870 - 1950 J/kg.K	Température de fusion 423 - 448 K
	Module de cisaillement 0.3158 - 0.5483 GPa	Température de transition vitreuse 248 - 258 K	Température maximale d'utilisation 356 - 380 K
	Module de compressibilité 2.5 - 2.6 GPa	Température maximale d'utilisation 150 - 200 K	
	Coefficient de Poisson 0.4082 - 0.4269		
	Allongement à la rupture 6.2 - 11.2 %	Propriétés Electriques	Conducteur ou isolant électrique ? Bon isolant
	Limite élastique 20.7 - 37.2 MPa	Résistivité électrique 2.3e22 - 3e23 joul/m.cm	Constante diélectrique 2.2 - 2.3
	Résistance en traction 27.6 - 41.2 MPa	Facteur de puissance 5e-4 - 5e-4	Tension de claquage 22.7 - 24.6 1e6V/m
	Résistance à la compression 25.1 - 55.5 MPa		
	Élongation 100 - 600 %		
	Limite de fatigue 11.04 - 16.56 MPa		
	Traînage 3 - 4.5 MPa/m ²		
	Coefficient d'amortissement 0.02811 - 0.04864		
Recommandations pour la conception			
Le PP standard est bon marché, léger et durable mais il a une faible tenue mécanique. Il est plus rigide que le PE et peut être utilisé à plus hautes températures. Les propriétés du PP sont semblables à celles du PEHD mais il est plus rigide et fond à une température plus élevée (165-170°C). Sa rigidité et sa résistance mécanique peuvent être améliorées en le renforçant avec des fibres de verre, de la fibre ou du carbone. Lorsqu'il est étiré en fibre, le PP a une résistance et une résistance exceptionnelle, ainsi que sa résistance à l'eau, et fait un matériau intéressant pour les ponts et les toits. Il est plus facile à mouler que le PE, a une bonne transparence et peut accepter une gamme plus large et plus vive de couleurs. Le PP est couramment produit sous forme de feuilles, de produits moulés et de fibres, il peut également être tissé. Les développements des catalyseurs permettent de nouveaux copolymères de PP avec des combinaisons plus intéressantes de résistance aux chocs, stabilité et facilité de mise en œuvre. Les fibres monofilaire ont une haute résistance à l'abrasion et sont presque deux fois plus tenaces que les fibres PE. Les fils multifilaire ou les cordes s'abîment par frottement, flottent sur l'eau et se colent facilement.			
Notes techniques			
Les nombreux grades de polypropylène tombent dans trois groupes de base : les homopolymères (polypropylène avec toutes une gamme de poids moléculaires et donc de propriétés), copolymères (faits par copolymérisation du propylène avec d'autres oléfines comme l'éthylène, le butylène ou le styrène) et les composites (polypropylène renforcés avec du mica, des fibres ou des fibres de verre...) qui sont plus rigides et résistent mieux à la chaleur que les polypropylènes.			
Applications typiques			
Cordons, pièces techniques, conduites d'air, filtres à air, et plâtres armés pour l'automobile, mobilier de jardin, tambour de machines à laver, boîtier de batterie, tuyaux et raccords, caisiers de bouteilles de bière, coques de chaise, capacités diélectriques, isolateurs de câbles, boîtiers, parois de voitures, étrépage anti-effraction, caisiers de manutention, valises, gazon synthétique, sous-vêtements thermiques.			

3. Aide à la sélection : logiciel CES Edupack

Consultation de données

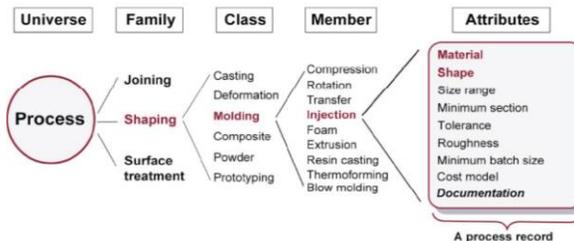
- Lecture
- Recherche

Fiche matériau / procédé

Description et informations textuelles générales

Propriétés

Description et informations textuelles spécifiques



3. Aide à la sélection : logiciel CES Edupack

Consultation de données

- Lecture
- Recherche

Fiche matériau / procédé

Description et informations textuelles générales

Propriétés

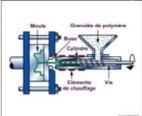
Description et informations textuelles spécifiques

Extrait d'une fiche de procédé : le moulage par injection

Moulage par injection

Aucun autre procédé n'a plus changé la conception de produits que le moulage par injection. Les produits moulés par injection apparaissent dans tous les secteurs de la conception de produits : des produits de consommation, des articles de bureau, des pièces industrielles, des ordinateurs, des instruments de communication, des articles médicaux et pour la recherche, des jouets, des outillages de cosmétiques et des équipements de sports. L'équipement le plus courant pour le moulage des thermoplastiques est la presse avec vis réciproquante, représentée schématiquement dans l'illustration. Les granules de polymère sont amenés dans une presse en spirale où ils se mélangent et se ramolissent pour atteindre une consistance pâteuse qui peut être forcée de pénétrer par un ou plusieurs canaux (carottes) dans le moule. Le polymère se solidifie en maintenant une pression (pression de maintien) et les pièces sont alors éjectées.

Les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères peuvent chacun être moulés par injection. La co-injection permet le moulage de pièces avec des matériaux, des couleurs ou des caractéristiques différents. Le moulage par injection d'alliage permet la production économique de grandes pièces moulées en utilisant un gas inerte ou un agent de gonflage chimique pour faire des pièces qui ont une peau compacte et une structure interne cellulaire.



Attributs économiques

Coût relatif de l'équipement Haut
Coût relatif de l'outillage Très haut
Importance de la main-d'œuvre Faible

Caractéristiques du procédé

Discrimina Très

Recommandations pour la conception

Le moulage par injection est le meilleur moyen de produire en masse des petits articles en polymère, précis et avec des formes complexes. Le fini de surface est bon, on peut facilement changer la texture et le décor en modifiant le moule et des détails fins sont bien reproduits. On peut normaliser sur des échantillons décoratifs qui apparaissent à la surface des pièces (voir décoration dans le moule). La seule opération de finition est le décourantage.

Notes techniques

On peut mouler par injection la plupart des thermoplastiques, bien que ceux qui ont une température de fusion élevée (i.e. le PTFE) soient difficiles à injecter. On peut mettre en oeuvre par injection les composites basés sur des thermoplastiques (renforcés par des fibres courtes ou des charges particulaires) à condition que le taux de charge ne soit pas trop important. Des changements importants dans la section des pièces ne sont pas recommandés. Des petits angles en contre-dépouille et des formes complexes sont possibles, bien que certains caractéristiques (i.e. contre-dépouilles, perçes filières et inserts) peuvent accroître le coût de l'outillage. On peut également utiliser le procédé de moulage par injection avec des thermodurcissables et des élastomères. L'équipement le plus courant pour le moulage des thermoplastiques est la presse avec vis réciproquante (cf. illustration). Les granules de polymère sont amenés sur une vis. La rotation de cette vis mélange et fait fondre le polymère qui atteint une consistance pâteuse. Le polymère fonde à l'accouplement devant la vis et la force à reculer (vis réciproquante). Lorsqu'une quantité suffisante de matière fondue a été accumulée devant la vis, on lui applique une pression assez élevée appelée pression d'injection. Celle-ci force la matière fondue à pénétrer par un ou plusieurs canaux (carottes) dans le moule. Pendant que le polymère se solidifie, on maintient une certaine pression appelée pression de maintien qui permet de compenser la rétraction de la matière due au refroidissement. Lorsque la matière est suffisamment solidifiée, l'objet est éjecté.

Utilisations typiques

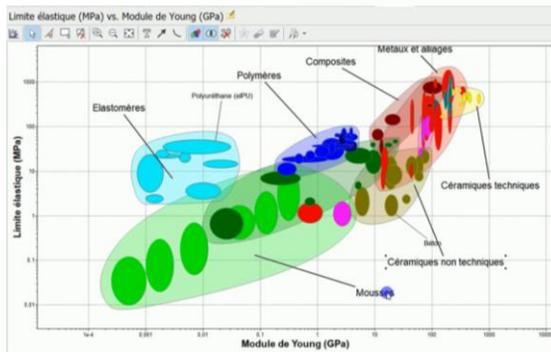
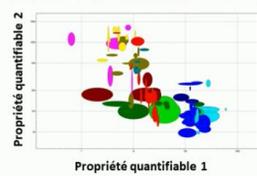
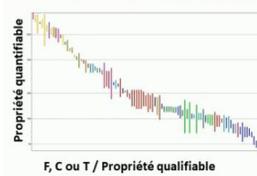
Extensivement varié. Des supports, des récipients, des couvercles, des boutons, des poignées d'outils, des pièces de plomberie, des jouets, etc.

Les données économiques

Le coût en capital est moyen à élevé, les coûts d'outillage sont d'habitude élevés - ce qui rend le moulage par injection économiquement avantageux pour les grandes séries. La vitesse de production peut être élevée particulièrement pour de petites pièces. Les moules multi-empreintes sont parfois utilisés. Les moulages de prototypes peuvent être faits en utilisant des moules mono-empreinte faits dans des matériaux meilleur marché.

3. Aide à la sélection : logiciel CES Edupack

- Consultation de données
 - Lecture
 - Recherche
- Comparaison de données
 - Graphiques
 - Tableau



Propriété qualifiable 2

Nombre de candidats	
Propriété qualifiable 1	

3. Aide à la sélection : logiciel CES Edupack

- Consultation de données
 - Lecture
 - Recherche
- Comparaison de données
 - Graphiques
 - Tableau
- Sélection
 - Par arborescence
 - Par limites
 - Sur graphiques

Base de données

F1, F2, F3, ...

C1, C2, C3, ...

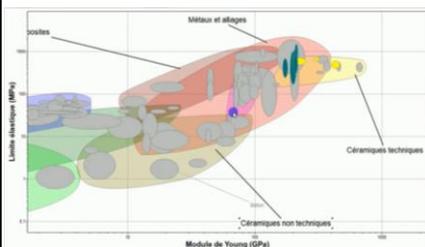
T1, T2, T3, ...

Prop. 1	Seuil min	Seuil max
Prop. 2	Seuil min	
Prop. 3	Vraie	Seuil max
Prop. 4		Seuil max
...		
Prop. n	Seuil min	Seuil max

Propriété quantifiable

Propriété quantifiable

F, C ou T / Propriété qualifiable



4. Exemples d'application : sélection de matériau avec *CES Edupack*

Matériaux pour boîtier de CD :

Pb : retour de boîtiers de CD en polystyrène (PS) pour cause de fissures

⇒ Demande d'optimisation : remplacer le PS en respectant le CdC initial (fonctions, forme et procédé) + à moindre coût



4. Exemples d'application : sélection de matériau avec *CES Edupack*

Matériaux pour boîtier de CD :

1 - Traduction du CdC pour définir l'ensemble des données et quantités nécessaires

Fonctions
Contraintes
Objectifs
Variables libres

2 - Ecriture des équations de dimensionnement et des critères de performances liés au objectifs

Données utiles à leur définition
Optimisation souhaitée (minimisation ou maximalisation)

Fonctions : contenir et protéger le CD
permettre de voir la jaquette

Contraintes : ténacité > PS
propriétés optiques du PS
forme et procédé fixés
(→ moulage thermoplastiques)

Objectif : coût minimum

Variables libres : matériau (→ thermoplastique)

Données utiles : ténacité
indice de réfraction optique
coût volumique

Optimisation : maximiser $I = K_{IC}/C_v$

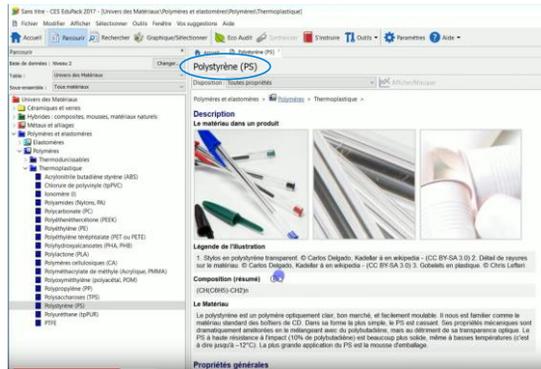
4. Exemples d'application : sélection de matériau avec CES Edupack

Matériaux pour boîtier de CD :

Consultation de données

- Lecture
- Recherche

Polystyrène (PS)	
Disposition : Toutes propriétés	
Propriétés mécaniques	
Module de Young	1,2 - 2,6 GPa
Module de cisaillement	0,5 - 0,9 GPa
Module de compressibilité	2,9 - 3,1 GPa
Coefficient de Poisson	0,383001 - 0,402671
Limite élastique	28,72 - 56,2 MPa
Résistance en traction	35,9 - 56,5 MPa
Résistance à la compression	31,902 - 61,82 MPa
Allongement	1,2 - 1,6 % strain
Mesure de dureté Vickers	8,6 - 18,9 HV
Limite de fatigue	4,464 - 40,287 MPa
Limite de fluage	0,7 - 1,1 MPa/m0.5
Coefficient d'amortissement (tan delta)	0,011311 - 0,049449
Propriétés thermiques	
Température de transition vitreuse	73,85 - 102,85 °C
Température maximale d'utilisation	76,85 - 102,85 °C
Température minimale d'utilisation	-173,15 - -73,15 °C
Conducteur de chaleur thermique (conductivité, les matériaux de base et les métaux, les alliages)	
Conductivité thermique	0,121 - 0,131 W/m.K
Chaleur spécifique	1986,59 - 1708,21 J/kg.K
Coefficient de dilatation	60 - 153 ppm/K
Propriétés optiques	
Transparent ou opaque?	Qualité Optique
Indice de réfraction	1,57 - 1,59



4. Exemples d'application : sélection de matériau avec CES Edupack

Matériaux pour boîtier de CD :

Consultation de données

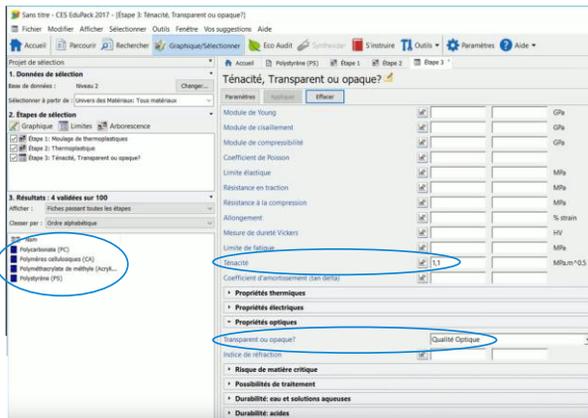
- Lecture
- Recherche

Comparaison de données

- Graphiques
- Tableau

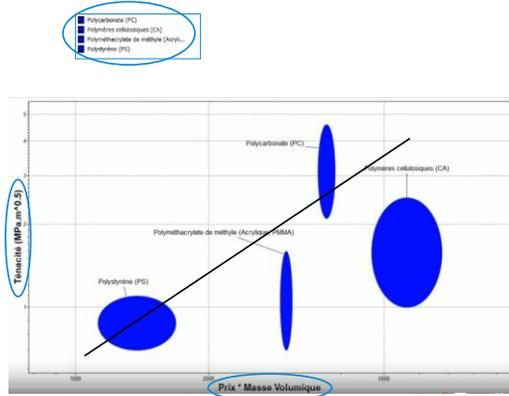
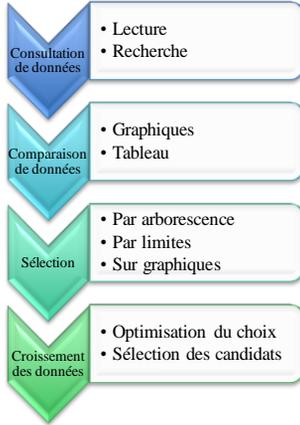
Sélection

- Par arborescence
- Par limites
- Sur graphiques



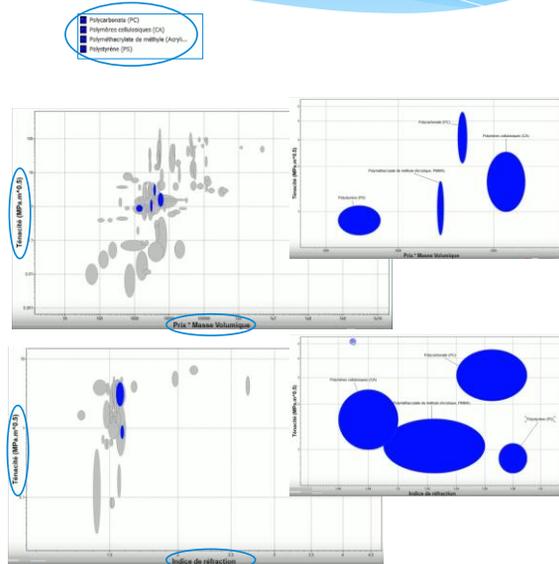
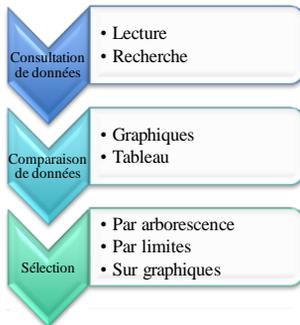
4. Exemples d'application : sélection de matériau avec CES Edupack

Matériaux pour boîtier de CD :



4. Exemples d'application : sélection de matériau avec CES Edupack

Matériaux pour boîtier de CD :



4. Exemples d'application : sélection de matériau avec *CES Edupack*

2 exemples à traiter :

- Sélection de matériaux pour un gobelet jetable
- Sélection de matériaux pour du fil à souder



4. Exemples d'application : sélection de matériau avec *CES Edupack*

Fonction : optimiser la sélection matériau pour un gobelet jetable

Contraintes : le matériau doit :

- pouvoir supporter les boissons chaudes (100°C)
- ne pas conduire la chaleur pour éviter tout risque de brûlure
- être moulable par injection
- être recyclable

Objectifs :

- minimiser le coût
- minimiser l'impact environnemental

Résultat attendu : choix du meilleur matériau



4. Exemples d'application : sélection de matériau avec CES EduPack



Contraintes

- Supporter les boissons chaudes
- Éviter les risques de brûlure
- Être moulable par injection
- Être recyclable



- Température maximale d'utilisation > 100 °C [Limite]
- Conducteur thermique ? Bon isolant [Limite]
- Moulage par injection [Arborescence]
- Recyclable Oui [Limite]

Objectifs

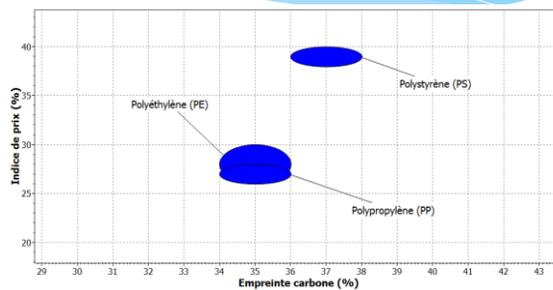
- Coût
- Impact environnemental



- Axe des ordonnées : Indice de prix [Graphique]
- Axe des abscisses : Empreinte carbone [Graphique]

4. Exemples d'application : sélection de matériau avec CES EduPack

Résultats : le PP semble être le meilleur matériau pour minimiser le prix et l'impact environnemental.



Polypropylène (PP)

Disposition : Sélectionner les matériaux

Polymères et élastomères > Polymères >

Description
Le matériau dans un produit

Légende de l'illustration
1. Échantillons de polypropylène montrant la texture et la transparence du matériau. © Chris Lefteri 2. Gobelets en polypropylène. © Thinkstock

4. Exemples d'application : sélection de matériau avec CES Edupack

Fonction : on cherche un matériau qui pourra servir comme fil à souder pour un circuit électrique

Contraintes : le matériau doit :

- conduire l'électricité
- Fondre à basse température (à partir de 100°C pour les fers à souder classiques)
- Pouvoir être enrouler et dérouler (déformation plastique facile)

Objectifs :

- minimiser le coût

Résultat attendu : choix du meilleur matériau



4. Exemples d'application : sélection de matériau avec CES Edupack



Contraintes

- Conduire l'électricité
- Fondre à basse température
- Déformable facilement
- Déformable plastiquement



- Conducteur électrique ? : **Bon conducteur** [Limite]
- Température ma d'utilisation : <100°C [Limite]
- Rigidité (axe des ordonnées) [Graphique]
- Limite élastique (axe des abscisses) [Graphique]

Objectifs

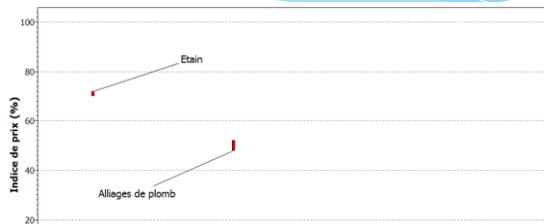
Coût



Axe des ordonnées : Indice de prix [Graphique]

4. Exemples d'application : sélection de matériau avec CES Edupack

Résultats : le plomb semble être plus judicieux, car moins cher.



Alliages de plomb

Disposition | Sélectionner les matériaux | Afficher/Masquer

Métaux et alliages > Alliages non ferreux >

Description
Le matériau dans un produit

Légende de l'illustration

1. Le plomb métallique est majoritairement utilisé pour la fabrication d'électrodes dans les batteries au plomb et à l'acide - elle représente 70 % de toute la production. 2. Les alliages plomb-étain étaient, jusqu'à récemment, les soudures les plus largement utilisées pour les appareils électroniques, la plomberie et l'attachement des boîtes de conserve. Maintenant les problèmes liés à la toxicité des sels de plomb limite de plus en plus leur utilisation. © Grants Design 3. Toiture de plomb à King's College Chapel, Cambridge, Royaume-Uni. © John Fernandez

Analyse du résultat : les fils dans le laboratoire de technologie sont en étain, le plomb n'étant plus utilisé du fait de sa toxicité.

5. Le recyclage des matériaux et l'éco-conception

80% de l'impact écologique final d'un produit est lié à l'étape de conception.

Depuis 1990, la conception s'est enrichie d'une nouvelle approche du cycle de vie du produit : le devenir de celui-ci est maintenant pris en compte dans sa globalité, depuis la conception jusqu'à sa fin de vie. Cette démarche est définie par le terme d'éco-conception.

Définitions de l'éco-conception :

- d'après l'ADEME (Agence Nationale de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), l'éco-conception est une démarche préventive qui permet de réduire les impacts négatifs des produits sur l'environnement, en agissant sur l'ensemble du cycle de vie, tout en conservant leur qualité d'usage.
- Pour un spécialiste, l'éco-conception a pour objectif d'améliorer la performance environnementale et fonctionnelle à toutes les étapes du cycle de vie des produits.

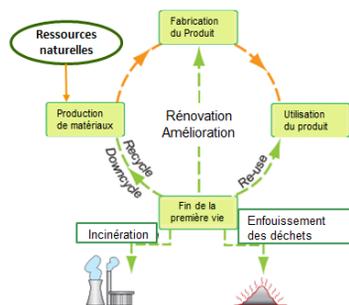
Le **développement durable** est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs (Rapport de la commission Brundtland, 1987).

5. Le recyclage des matériaux et l'éco-conception

Définition de termes et notions de recyclage : le terme "recyclage" utilisé dans le langage courant, englobe plusieurs définitions que l'on a tendance à confondre :

- *Recycler* : fabriquer des pièces finies à partir d'une matière récupérée après l'usage de produit.
- *Valoriser* : utiliser des déchets (matériaux non recyclables, mais réutilisables) comme matière première d'un nouveau processus de fabrication (exemple : pneu usagé qui est broyé, puis utilisé dans un revêtement routier).
- *Régénérer* : reconstituer des propriétés d'origine d'une matière.

Cependant, en fonction de la nature des matériaux, ces termes ont des spécificités. Ainsi, dans le cas des polymères, le terme « valorisation » couvre à la fois le recyclage (dont celui par procédé chimique), l'incinération avec récupération d'énergie, le compostage et la méthanisation.



5. Pourquoi une sélection efficace des matériaux est-elle importante ?

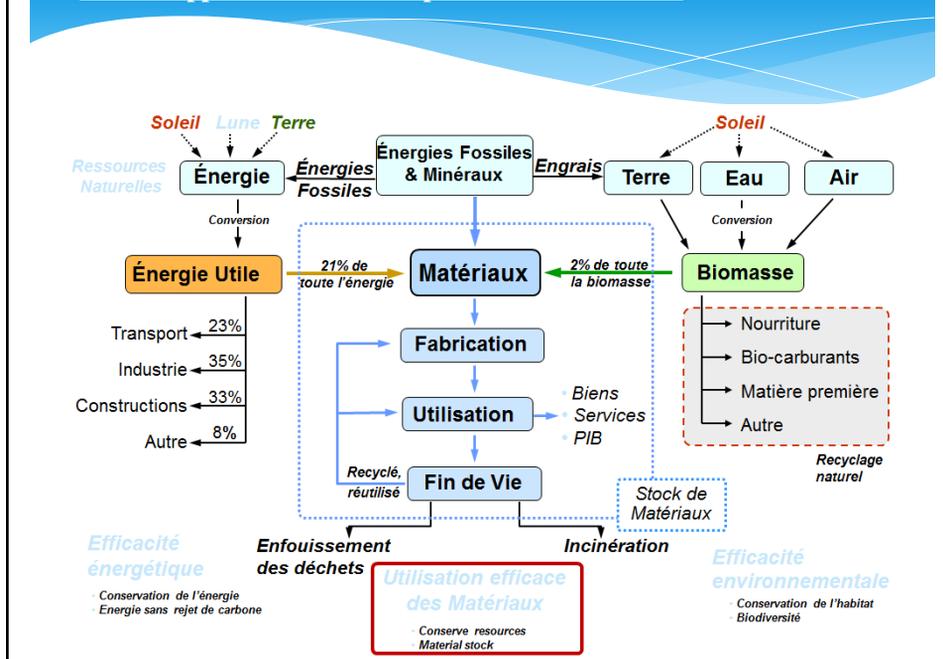
En arrière plan se joue la **dépendance aux matériaux** : jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle, tous les matériaux étaient abondants, et il y avait peu de dépendance ; aujourd'hui, la quasi-totalité du tableau périodique est qualifiée de « ressource critique », que ce soit du point de vue de la dépendance à l'élément, ou de celui des réserves disponibles.

Le développement durable, d'un point de vue matériaux, consiste à **conserver les stocks**.

- défi sur le long terme : conserver les ressources non renouvelables, même si elles sont abondantes.
- défi plus immédiat :
 - réduire l'énergie dans la production de matériaux
 - réduire les émissions issues de la production
 - réduire la dépendances aux importations, surtout celles des matériaux critiques
 - réduire les pertes inutiles dans les stocks de matériaux

Une **utilisation efficace des matériaux** nécessite une amélioration de la science des matériaux, de l'ingénierie de conception, de la législation, et de l'adaptation aux styles de vie, pour aboutir à une sélection rationnelle et systématique, et une optimisation du choix des matériaux pour diminuer l'énergie d'utilisation.

5. Le développement durable du point de vue matériaux



5. Le recyclage des matériaux et l'éco-conception

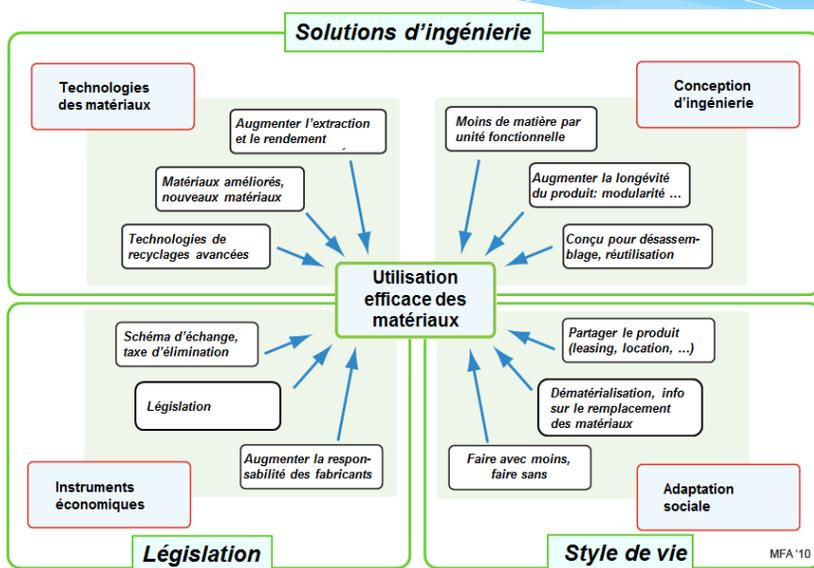
Principes d'une démarche d'éco-conception d'un produit : la démarche de l'éco-conception permet d'aider l'industriel et le concepteur à concevoir des produits moins polluants, moins consommateurs d'énergie, etc. Pour cela, on va commencer par identifier les impacts sur l'environnement du produit initial, puis en fonction de ce diagnostic initial, intégrer les exigences environnementales le plus en amont possible de la conception, pour une approche réellement préventive des impacts sur l'environnement.

Il s'agit donc de sélectionner, parmi **8 axes possibles** (ou « pistes d'éco-conception », issus de la méthodologie de l'UNEP (programme des nations unies pour l'environnement, ou « PNUE » en français. Ils ont été édités en 1997 puis mis à jour : Ecodesign a promising approach »)), ceux qui contribueront à une diminution réelle et significative des impacts sur l'environnement.

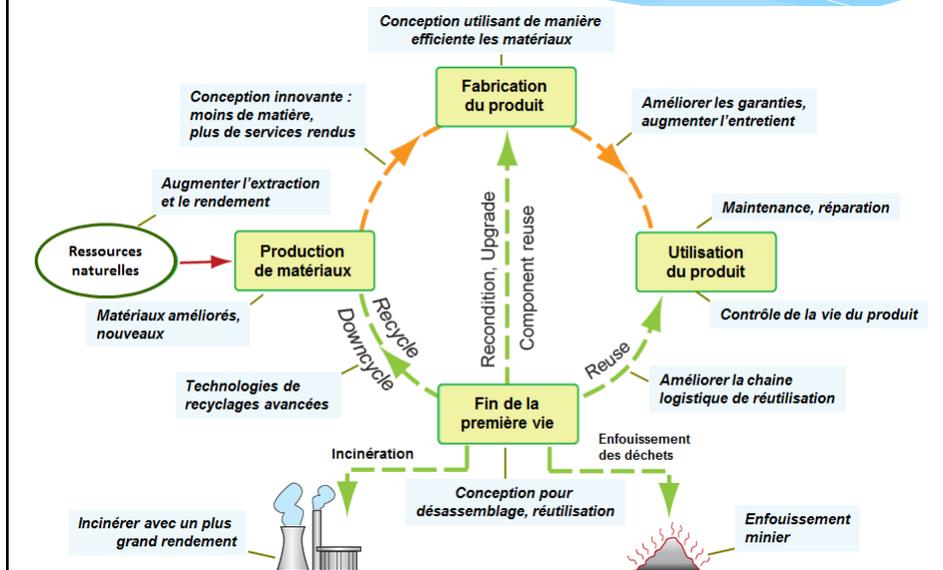
5. Principe d'une démarche d'éco-conception : 8 axes possibles (UNEP)

- 1) sélectionner les matériaux ayant le moins d'impact : matériaux renouvelables, à contenu énergétique moindre, recyclables ou recyclés
- 2) réduire la quantité de matériaux utilisés : réduction en poids ou en volume de matière
- 3) optimiser les techniques de production : choix de la meilleure technique de production, diminuer les étapes et la consommation d'énergie nécessaire pour produire, réduire les déchets et l'utilisation des consommables, choisir des énergies propres, des consommables moins polluants, des fournisseurs sensibilisés et en adéquation.
- 4) optimiser la logistique : emballages réduits, moins polluants, réutilisables, transport optimisé et moins polluant
- 5) réduire l'impact de l'utilisation : consommation d'énergie réduite, réduire les consommables
- 6) optimiser la durée de vie : durabilité et fiabilité du produit, faciliter la maintenance et la réparation (produit modulaire), penser le design et le renouvellement
- 7) optimiser la fin de vie du produit : produit réutilisable, remise à niveau possible, optimisation de ses composants, fiabilité de tous les circuits (électrique, hydraulique, etc.)
- 8) développer de nouveaux concepts : dématérialisation, utilisation partagée du produit, intégration de fonctions, optimisation fonctionnelle du produit (fonctions utiles)

5. Le recyclage des matériaux et l'éco-conception

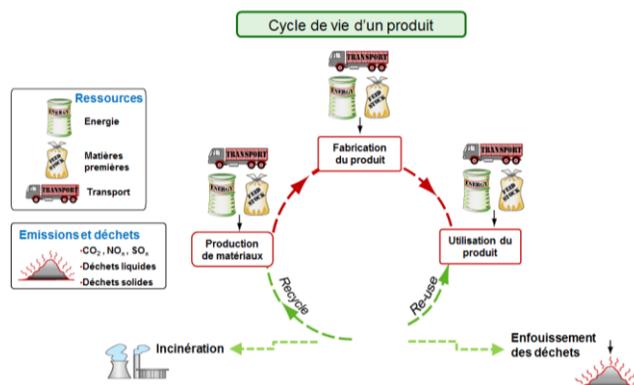


5. Le recyclage des matériaux et l'éco-conception



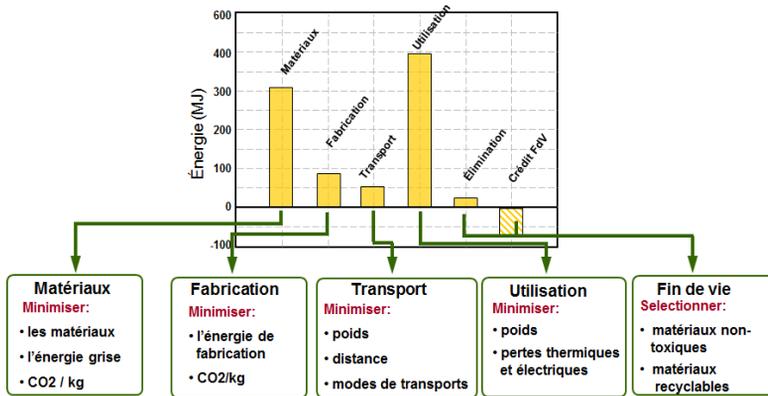
5. L'éco-audit

Un éco-audit consiste à mesurer et analyser l'impact environnemental d'un produit, en prenant en compte l'**intégralité de son cycle de vie**. Le protocole de Kyoto (1997) engage les pays à réduire progressivement les **émissions de carbone** (CO₂). Au niveau national, les efforts se portent plutôt sur la réduction de l'**énergie consommée** (étroitement lié au CO₂).



5. L'éco-audit

CES Edupack propose un outil EcoAudit, permettant d'estimer la consommation d'énergie ou l'émission de CO₂ d'un produit, en séparant les contributions des différentes phases de vie, pour déterminer celle qui sera dominante et baser les décisions de conception dessus. L'outil Eco Audit inclure aussi une estimation du coût de chaque phase dans l'analyse.



5. L'éco-audit

Données Utilisateur

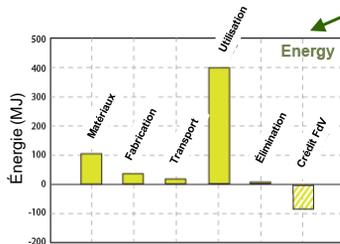
- Liste des matériaux
- Procédés de fabrication
- Transport
- Utilisation
- Choix de fin de vie



Données éco de CES

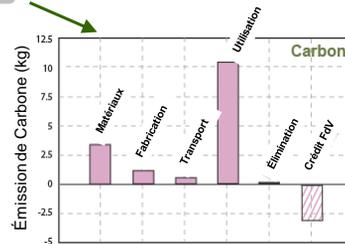
- Energies grises
- Energies de fabrication
- Empreintes CO₂
- Energies de transport
- Recyclage / combustion

Modèle Eco Audit



Résultats

(Incluant les données tabulaires)



5. L'outil EcoAudit CES Edupack

The screenshot shows the EcoAudit software interface for a 'Bouteille d'eau minérale (100 unités) - Bouteille en verre'. Key features highlighted by callouts include:

- Liste des matériaux (remplie ou importée):** A sidebar on the left lists various materials like 'Alliages ferreux', 'Aluminium et alliages', and 'Polymères et élastomères'.
- Utile pour scénarios "et si?":** A 'Comparer à...' button is highlighted in the top navigation bar.
- Aide disponible à chaque étape:** Callouts point to the 'Matériaux, fabrication et fin de vie', 'Transport', and 'Utilisation' sections.
- Informations à utiliser:** Callouts point to the 'Tableau récapitulatif' and 'Fiche détaillée' at the bottom.

5. L'outil EcoAudit CES Edupack

Nom du Composant	Matériau	Procédé	Masse (kg)	Fin de vie
Composant 1	Alliages d'alu	Moulage	2.3	Recyclage

Univers des Matériaux

- ☐ Céramiques et verres
- ☐ Composants électriques (uniquement pour audit Eco)
- ☐ Hybrides : composites, mousses, matériaux naturels
- ☑ Métaux et alliages
 - ☑ Alliages ferreux
 - ☑ Alliages non ferreux
 - ☑ Alliages d'aluminium
 - ☑ Alliages de cuivre
 - ☑ Alliages de magnésium
 - ☑ Alliages de nickel
 - ☑ Alliages de plomb
 - ☑ Alliages de titane
 - ☑ Alliages de tungstène
 - ☑ Alliages de zinc
 - ☑ Étain
 - ☑ L'argent
 - ☑ L'or
- ☑ Polymères et élastomères
 - ☑ Elastomères
 - ☑ Polymères

• Moulage

• Forgeage

• Extrusion

• Tréfilage

• Mise en forme de poudres métalliques

• Vaporisation

• Réutilisation

• Reconditionnement

• Recyclage

• Combustion

• Enfouissement

5. L'outil EcoAudit CES Edupack

Composant 1

Alliages d'aluminium

Moulage

2.3

Recyclage

Composant 2

Polypropylène

Moulage polymère

1.85

Mise en décharge

Composant 3

Verre

Moulage de Verre

3.7

Réutilisation

Energie grise totale

Energie de fabrication totale

Masse totale

Energie totale de fin de vie

5. L'outil EcoAudit CES Edupack

Phase de transport

Etape 1

Etape 2

Type de transport

Camion 32 tonnes

Fret maritime

- Fret Maritime
- Fret fluvial
- Fret ferroviaire
- Camion 32 tonnes
- Camion 14 tonnes
- Véhicule utilitaire léger
- Fret aérien - long courrier
- Fret aérien - court courrier
- Hélicoptère

Distance (km)

350

12000

Energie de transport

CO₂ de transport

Liste des types de transport :
MJ / tonne.km
CO₂ / tonne.km

5. L'outil EcoAudit CES Edupack

Energie en entrée et en sortie **Electrique en mécanique**

Puissance nominale **1.2 kW**

Utilisation **365** Jours par an

Utilisation **0.5** Heures par jour

Energie totale ou CO₂ d'utilisation

Voie de conversion d'énergie

- Combustible fossile en thermique - clos
- Combustible fossile en thermique - aéré
- Combustible fossile en électrique
- Combustible fossile en mécanique
- Electrique en thermique
- Electrique en mécanique (Moteur électrique)**
- Electrique en chimique (batterie plomb acide)
- Electrique en chimique (Batterie lithium ion)
- Electrique en rayonnements EM (lampe à incandescence)
- Electrique en rayonnements EM (LED)

W
kW
MW
hp
ft.lb/sec
kCal/yr
BTU/yr

Stage	Energy (MJ)
Matériaux	~100
Fabrication	~50
Transport	~20
Utilisation	~400
Elimination	~10
Crédit P.V.	~-50

5. Principe d'une démarche d'éco-audit

Eco Audit

Analyse des résultats, Identification des priorités

Exploration des nouvelles options

Sélection de nouveaux matériaux et/ou de nouveaux procédés

Recommander de nouvelles actions et évaluer les gains potentiels

Conception initiale

Et si : Différents Matériaux ?

Rigidité (%)

Densité (%)

Conception 1
 Conception 2
 Conception 3

-100 % Change +100
 0 %
 -8 %
 +11 %

5. Un exemple simple : la bouteille d'eau

- Bouteille en PET d'un litre avec bouchon en PP (Lot de 100 unités)
- Moulée par soufflage
- Fabriquée en France, transportée sur 550 km au RU
- Refrigérée pendant 2 jour, puis bue

