

Ecole CNRS - école Technologique de Saint Jorioz, 25 au 29 novembre 2019 à Saint Jorioz :

L'avancée de matériaux pour les bureaux d'études et les ateliers de mécanique

Eco-conception et matériaux

Emmanuelle Jacquet

enseignant chercheur Mécanique

UFR-Sciences et Techniques- département Mécanique et Génie Mécanique

Institut FEMTO-ST département Mécanique Appliquée

Université de Franche-Comté

DEFINITION

Rapport Technique ISO/TR 14062:2002 -

"l'intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits..."

*pour réduire les impacts environnementaux
sur l'ensemble de son cycle de vie
en conservant sa "qualité d'usage"
par une meilleure conception*

FONDAMENTAUX

- Intégration dès la conception
- Vision globale (cycle de vie)
- Aspect multicritères
- Optimum fonction / impact
- Recherche de compromis de solutions

Eco-conception et Matériaux

- Intégrer le **Cout environnemental** lié à la fabrication et à l'usage de tel ou tel matériau
- Innover et remplacer les matériaux dit fortement impactants
- Développer des méthodes d'évaluation environnementale, les appliquer.
- Concevoir des filières d'économie circulaire (territoires et recyclage).

ECO-CONCEPTION = Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement d'un produit

Méthode : Démarche ***d'amélioration continue*** :

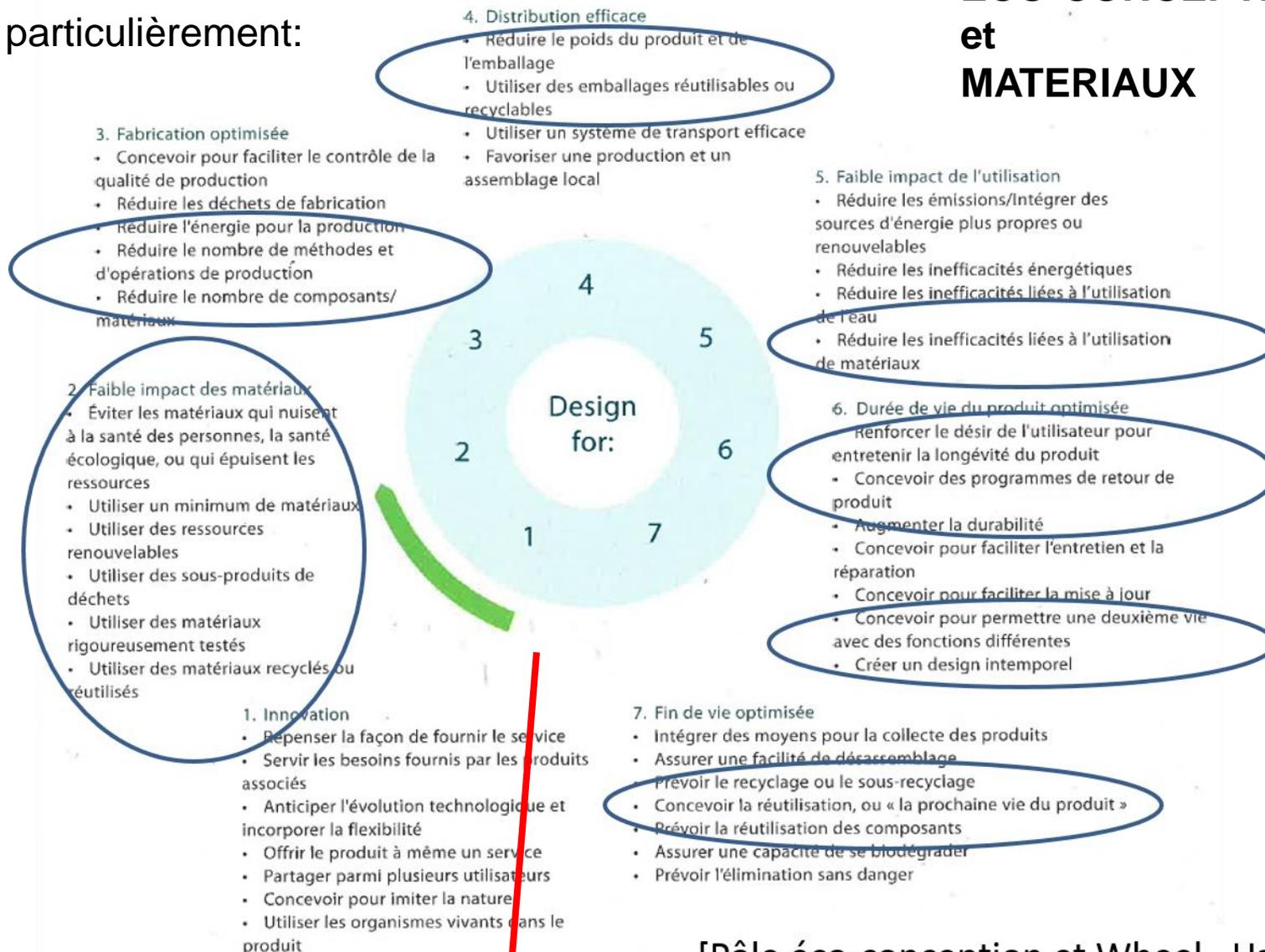
- ✓ Planification : *Définition d'objectifs en relation avec les aspects environnementaux significatifs d'un produit.*
- ✓ Conception : *Recherche de solutions permettant d'atteindre les objectifs.*
- ✓ Evaluation : *Evaluation d'un produit vis-à-vis des objectifs établis.*
- ✓ Production : *Mise en œuvre des solutions trouvées.*

MATERIAU = Matière de la conception

- ✓ *Le matériau = des propriétés intrinsèques ou attribuées (esthétique, prix...*
- ✓ *Les techniques mises en œuvre et traitement (surface, recyclage...) découlent des propriétés*
- ✓ *Le produit = des caractéristiques résultant du dimensionnement et du matériau (durée de vie, qualité) d'un produit*

ECO-CONCEPTION et MATERIAUX

Plus particulièrement:



[Pôle éco-conception et Wheel , Hans Brezet
(LiDs Lifetime Design Strategies)]

école Technologique de Saint Jorioz, 25 au 29
novembre 2019 à Saint Jorioz

OPTIMISATION phases fabrication

OPTIMISATION phases usage direct/indirect

EVALUATION

RECYCLAGE

SOCIETE et REGLEMENTATIONS



4. Distribution efficace

- Réduire le poids du produit et de l'emballage
- Utiliser des emballages réutilisables ou recyclables
- Utiliser un système de transport efficace
- Favoriser une production et un assemblage local

3. Fabrication optimisée

- Concevoir pour faciliter le contrôle de la qualité de production
- Réduire les déchets de fabrication
- Réduire l'énergie pour la production
- Réduire le nombre de méthodes d'opérations de production
- Réduire le nombre de composants

2. Faible impact des matériaux

- Éviter les matériaux qui nuisent à la santé des personnes, la santé écologique, ou qui épuisent les ressources
- Utiliser un minimum de matériaux
- Utiliser des ressources renouvelables
- Utiliser des sous-produits de déchets
- Utiliser des matériaux rigoureusement testés
- Utiliser des matériaux recyclés réutilisés

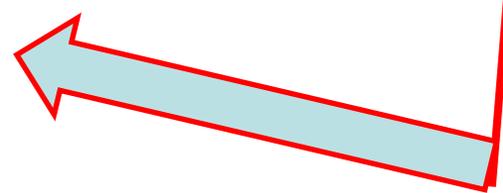
1. Innovation

- Dépense
- Servir les besoins associés
- Anticiper l'évolution technologique et incorporer la flexibilité
- Offrir le produit à même un service
- Partager parmi plusieurs utilisateurs
- Concevoir pour imiter la nature
- Utiliser les organismes vivants dans le produit

5. Faible impact de l'utilisation

- Réduire les émissions/Intégrer des produits propres ou
- Utiliser des énergies renouvelables
- Faciliter la mise à jour
- Permettre une deuxième vie
- Faciliter l'entretien et la réparation
- Prévoir la réutilisation des composants
- Assurer une capacité de ségrégation
- Prévoir l'élimination sans danger

[Pôle éco-conception et Wheel , Hans Brezet (LiDs Lifetime Design Strategies)]



Focus sur les Matériaux, angle de vue de l'éco-conception.

- A. Quelles réglementations? (issues textes européens)
- B. Quel matériau pour quel usage?
- C. Quelles méthodes d'évaluation?

- I. Directive européenne **RoHS** (1 en 2003 2 en 2011) (***Reduction of hazardous substances***) – applicable en France en 2013
- II. Directive européenne **WEEE** (1 en 2003 puis 2 en 2018) (***déchets (waste) équipements électriques électroniques***) DEEE en France depuis 2005
- III. **Agrément VHU** (2000) - réglementation concernant les véhicules hors d'usage décret en France depuis 2007 et 2017
- IV. directive **EUP / ErP** (2005-2009) (***energy using product / Energy related Products***) transposée en droit français 2011
- V. Loi **Reach** adopté en 2006, applicable depuis 1^{er} juin 07 - (***Registration evaluation authorization of chemicals***)

I *Directive européenne RoHS – RoHS2* *Reduction of hazardous substances*

+ Marquage
CE sur les
DEEE

(réduction des substances dangereuses) <http://www.rohs.info/fr/>

- substances concernées:

Le plomb (0.1%), le cadmium (0.01%), le mercure (0.1%), le chrome hexavalent (0.1%), les biphényles polybromés (0.1%) et les diphenyléthers polybromés (0.1%).

concentrations maximales admissibles par poids de matière homogène (= unité qui ne peut pas être séparée mécaniquement (par coupure, broyage, écrasement, etc.) en plusieurs matières distinctes : plastique, céramique, verre, métaux, etc.)

II *Directive européenne WEEE (DEEE) 2*

Waste in electronics

(déchets des DEEE)

Collecte, le traitement sélectif, le recyclage ou la réutilisation des équipements électriques ou électroniques.

Responsabilité du producteur.

Au niveau de la conception des produits,
du choix des matériaux
des filières de recyclage



III Directive VHU *liée à la gestion des Véhicules hors d'usage*

www.developpement-durable.gouv.fr/Vehicules-Hors-d-Usage-VHU,12759.html

Responsabilités :

- ✓ du constructeur pour *limiter l'usage de substances dangereuses, faciliter le démontage et la dépollution* et prévoir le réemploi et la valorisation des composants et matériaux.
- ✓ du détenteur du véhicule
- ✓ des démolisseurs de véhicules.

Objectifs au 1.1.2015 95% matières issues du recyclage et valorisation
85% recyclage et réutilisation

IV Directive européenne EUP/ERP Energy Using Products / Energy Related P. <http://eco3e.eu/reglementations/erp/> Hors VHU

incitation des fabricants et importateurs à proposer des produits conçus pour réduire l'impact global . Objectif 2020 réduction 20% remis à la discussion

A Réglementation

V Loi REACH (adoptée à l'unanimité dec 06 applicable 1^{er} juin 07)

Registration Evaluation autorisation of chemicals

en **Registrement**, **Evaluation** **Autorisation** de mise sur le marché et d'utilisation des produits **CHimiques**

http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/reach/index_fr.htm

(les 27 états européens + Islande, Lichtenstein, Norvège)

Objectif: Protéger **la santé des consommateurs et l'environnement** contre les risques liés à l'utilisation de milliers de produits chimiques

Montrer que les **30 000 substances chimiques** utilisées couramment et susceptibles d'être néfastes sont sûres

Remplacer les substances les plus toxiques par des **substances alternatives** plus sûres.

Renforcer la transparence / Maintenir et renforcer la position concurrentielle de l'Europe

Principe: Obliger les industriels à fournir les preuves toxicologiques de l'innocuité de leurs produits.

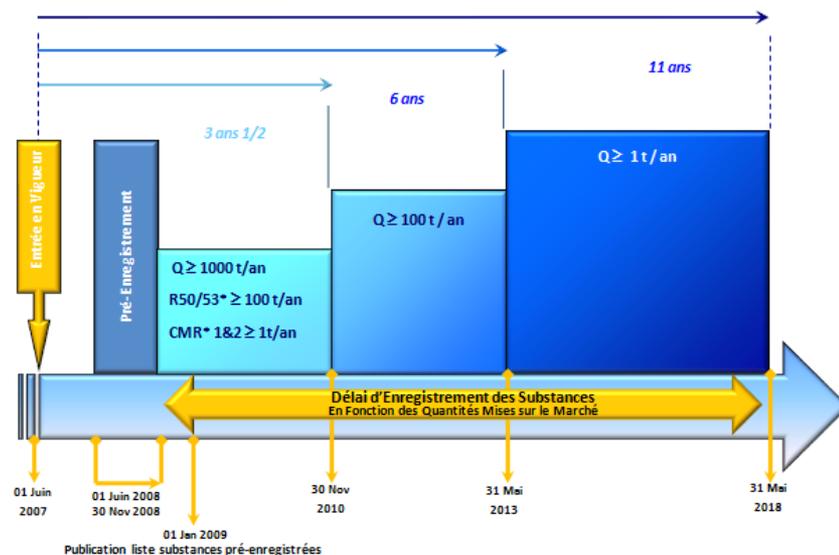
couvre le contrôle de la fabrication, de l'importation, de la mise sur le marché et de l'utilisation des substances chimiques = Système unique d'enregistrement et 2 bases de données :

-**EINECS** (European INventory of Existing commercial Chemicals Substances) :

inventaire européen des substances chimiques commercialisées (JOCE n° C146A du 15/06/1990)

-**ELINCS** (European List of New Chemical Substances) :

liste européenne des substances chimiques nouvelles (JOCE C361 du 17/12/1994) .

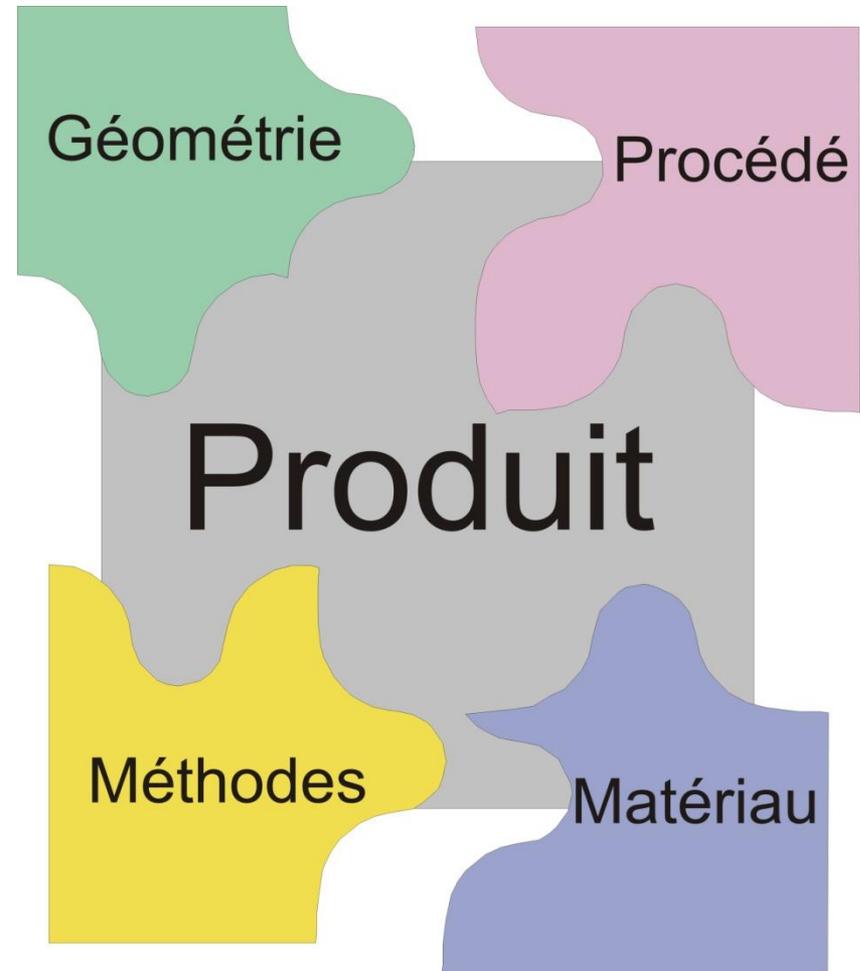


* CMR: Substances Cancérigènes, Mutagènes, Reprotoxiques

* R50/53 : Substances classées comme très toxiques pour les organismes aquatiques

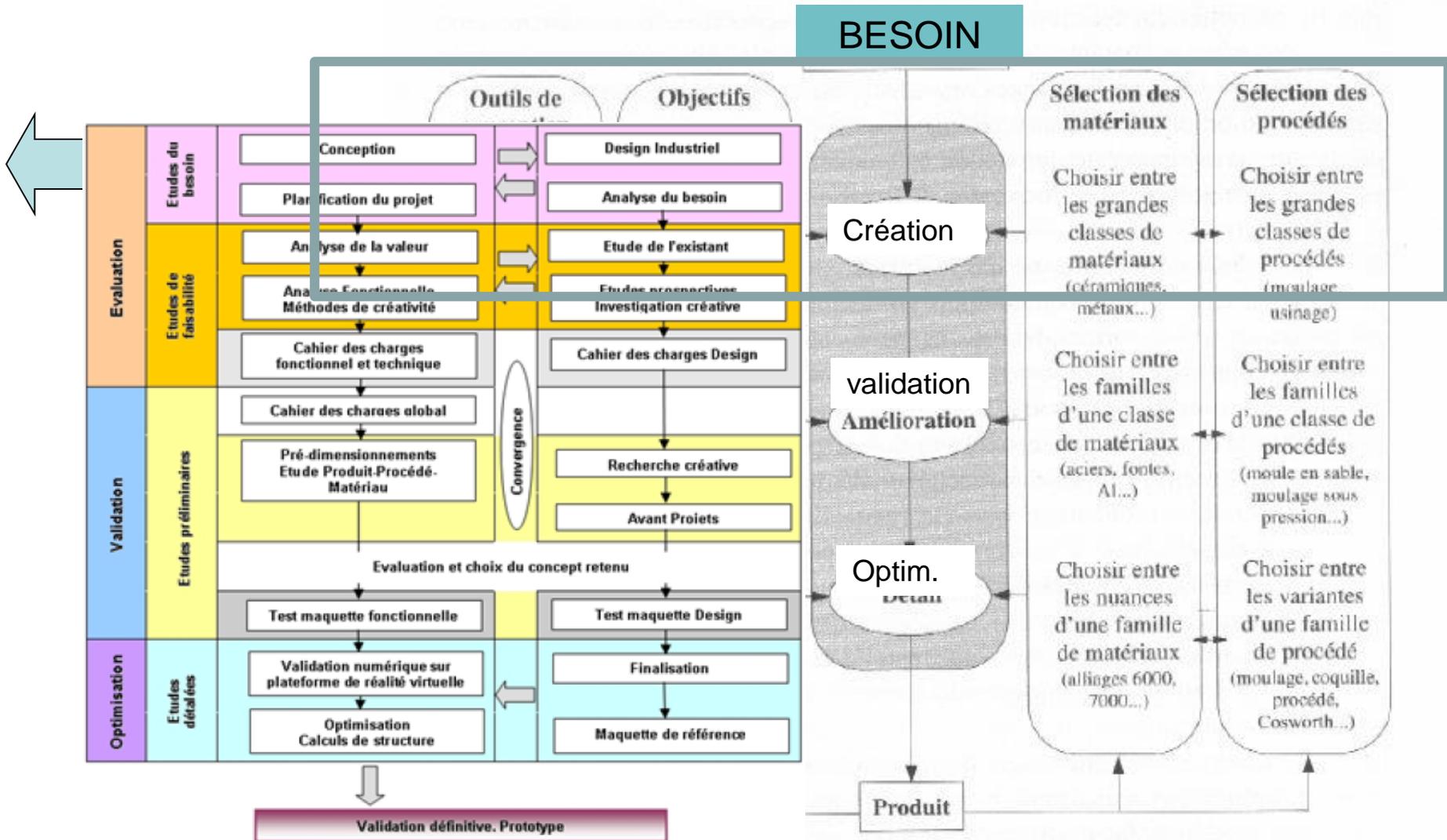
Quel matériau pour quel usage?

- I. La fonction du matériau
- II. Critère de choix
- III. Classification
- IV. Réalité du multi-objectifs



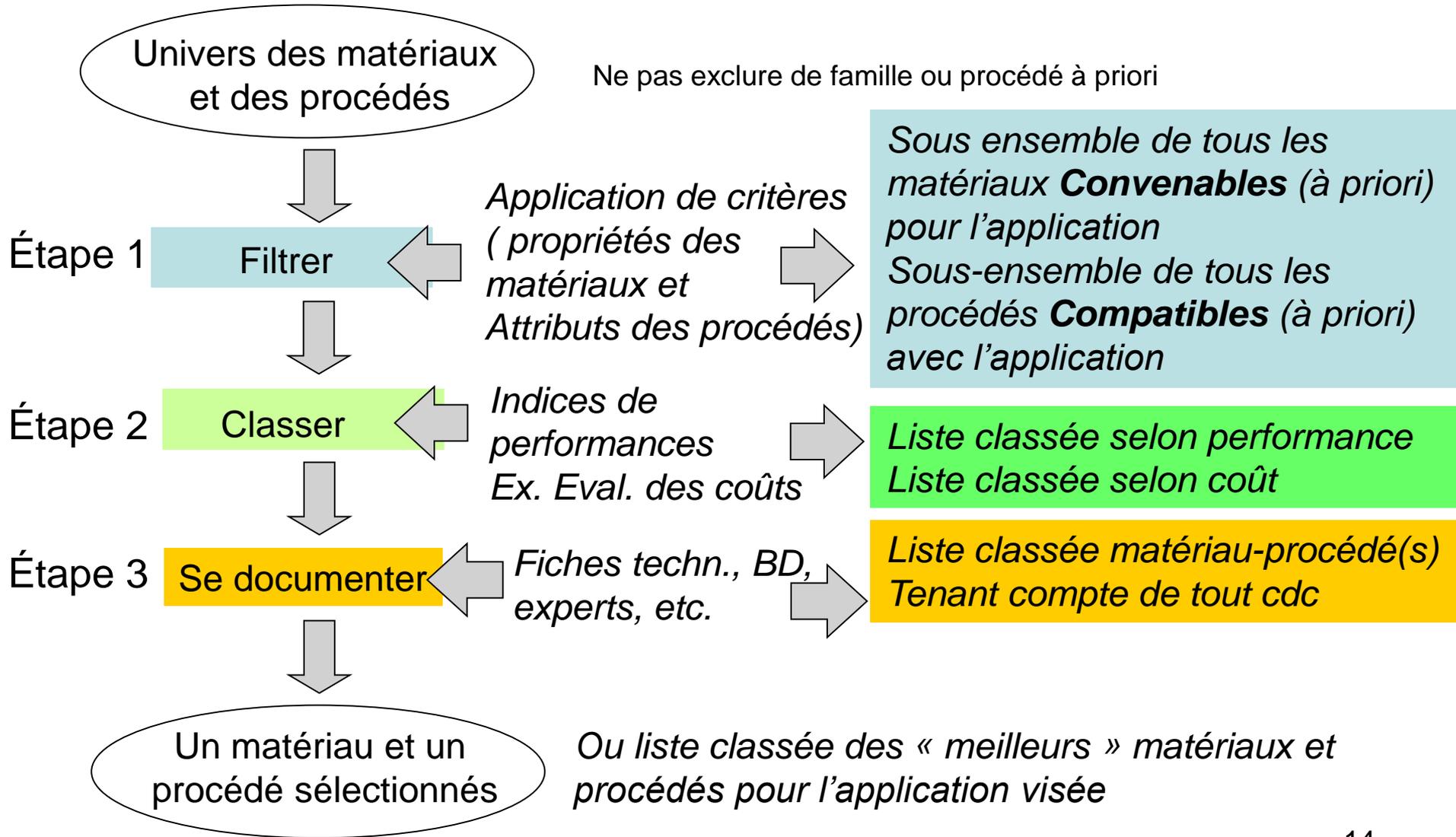
1 Le processus de conception Bien identifier la fonction du matériau

Cahier des charges



Stratégie rationnelle en 3 étapes

Méthodologie ASHBY



Méthodologie
ASHBY

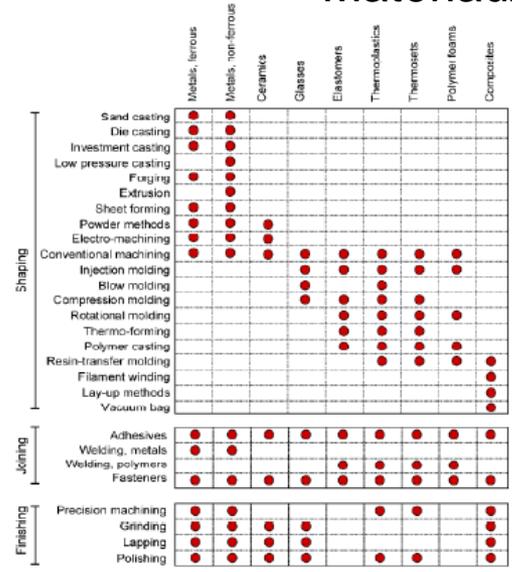
Les outils du concepteur :

Matériaux

les limites de propriété

FONCTION	Que fait le composant ?
CONTRAINTES	Quelles sont les contraintes négociables ? Quelles sont les contraintes non négociables ?
OBJECTIFS	Que faut-il maximiser ? minimiser ?
VARIABLES LIBRES	Qu'est-ce qui n'est pas imposé ?

Procédés

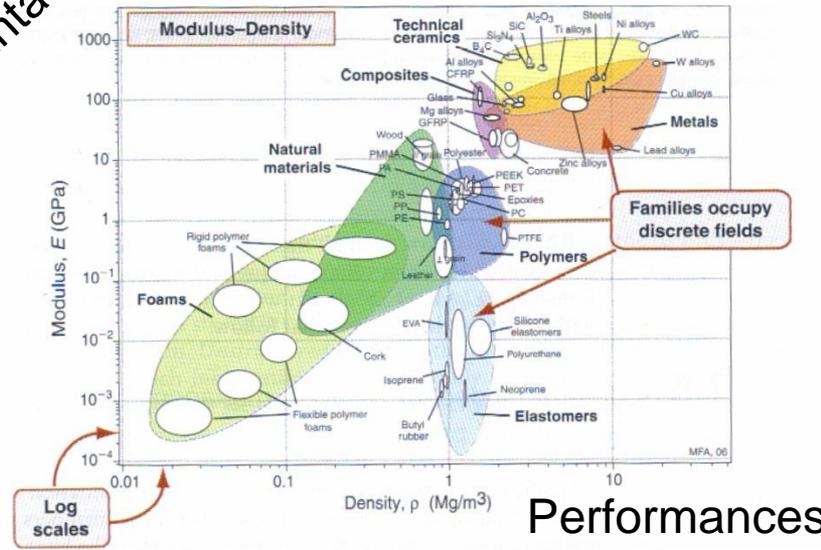


les indices de performance

Procédés

Procédés	Description	Axsymétrique					Prismatique			géométries				
		A10	A11	A20	A21	A30	A31	P10	P11	P20	disco	plaque	cylindrique	prismatique
Coulée	gravité	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	basse pression	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	haute pression	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Moulage	injection	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	compression	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	soufflage	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Déformation	mousse	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	à froid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	à chaud	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usinage	tournage	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	fraisage	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	meulage	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Métallurgie des poudres	fréage (HIP)	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
	coulée sur bande	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
	spray	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mise en forme	stratification	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	moulage	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
	coulage-forgeage	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Méthodes	PVD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Grantadesign



Détermination de l'Indice de performance, **par un calcul simplifié**

- Indice de performance **Perf (noté M1, M2, M...)**
= combinaison de propriétés

?

- Formalisation 3 types de spécifications:

- Exigences fonctionnelles
- Géométrie
- Propriétés du matériau constituant

$$p = p(F, G, M)$$

- En considérant que Fonction, Géométrie et Matériau sont indépendants :

$$p = f(F) \cdot g(G) \cdot m(M)$$



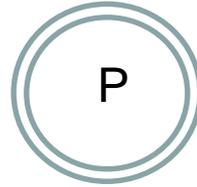
Perf ou 1/Perf

- Et **f(F)**, **g(G)** et **m(M)** peuvent être optimisés séparément

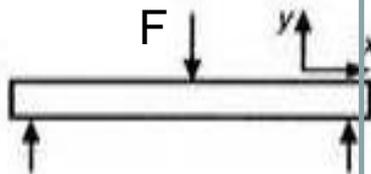
EXEMPLE TUBE élastique souple sous Pression interne

Sous l'hypothèse d'un tube fin :

$$\sigma = \frac{P \cdot r}{e} \leq Re$$



La flèche de déformation du tube, si le tube est en appui libre et chargé au milieu :



$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot \pi r^3 \cdot e} = \frac{1}{\pi 6} \frac{F}{P} \frac{L^3}{r^4} \frac{Re}{E}$$

P la pression à l'intérieur
 F force appliquée au centre
 r le rayon extérieur du tuyau
 L longueur du tuyau
 e l'épaisseur de matière

R_e limite élastique

E module d'élasticité

P masse volumique

H_{extrus} énergie nécessaire pour extruder une masse unitaire du matériau

La masse du tuyau de longueur L :

$$M = \pi (r^2 (r - e)^2) L \cdot \rho \sim \pi r \cdot e \cdot L \rho$$

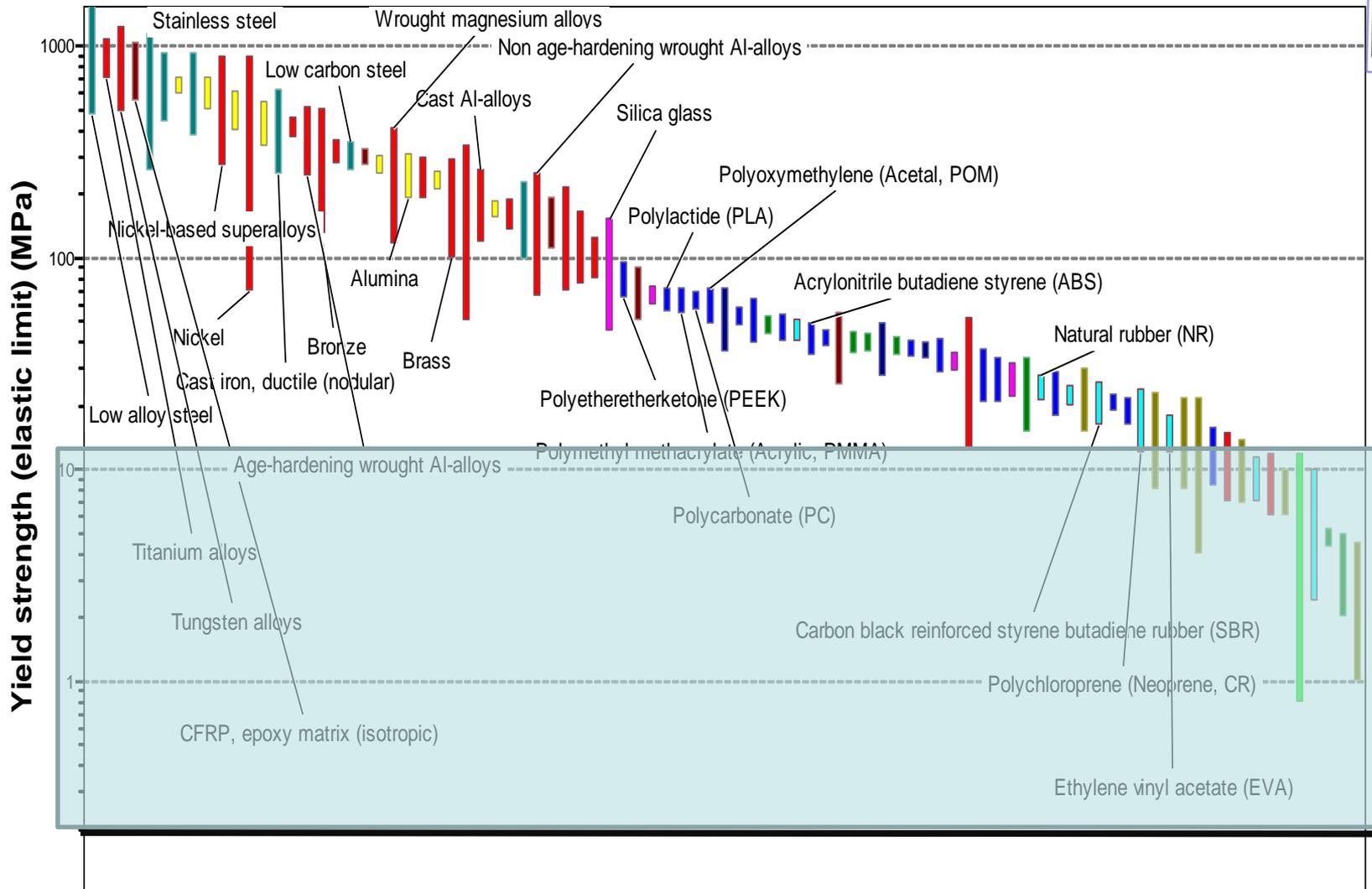
$$M \sim \pi 2r \cdot \frac{P \cdot r}{Re} \cdot L \rho = 2\pi \cdot r^2 \cdot P \cdot \frac{\rho}{Re}$$

FONCTION	<i>Guide de circulation sous pression</i>
CONTRAINTES	<i>Rayon longueur, Doit supporter P la pression interne</i>
OBJECTIFS	<i>Une épaisseur minimum</i>
VARIABLES LIBRES	<i>Le matériau</i>

o u	<i>Le plus faible</i>
	<i>Une masse minimale</i>

o u	<i>Le plus grand</i>
	<i>Le plus flexible possible tout en restant élastique</i>

o u	<i>Et obtenu par extrusion</i>
	<i>Nécessite une énergie d'extrusion minimum</i>

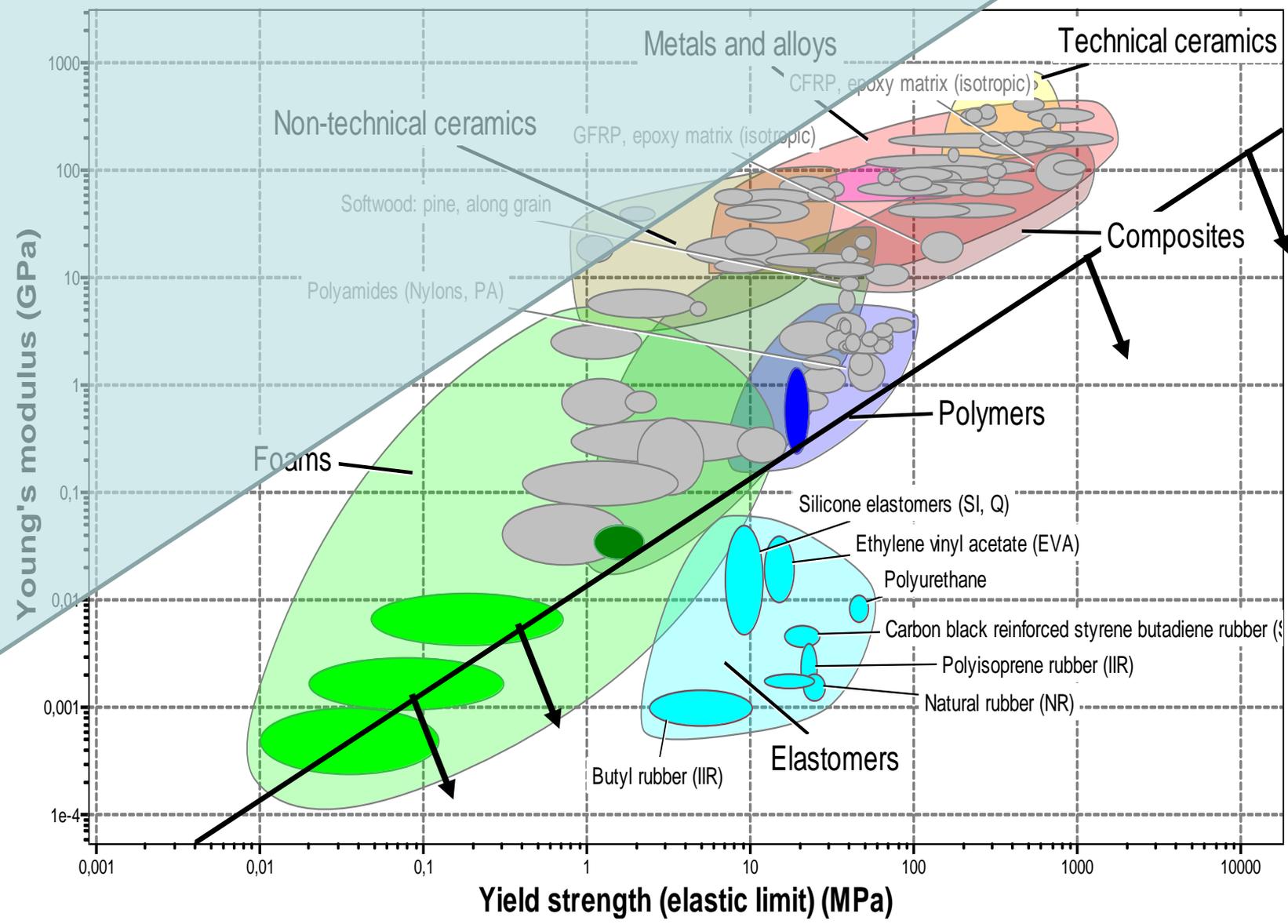


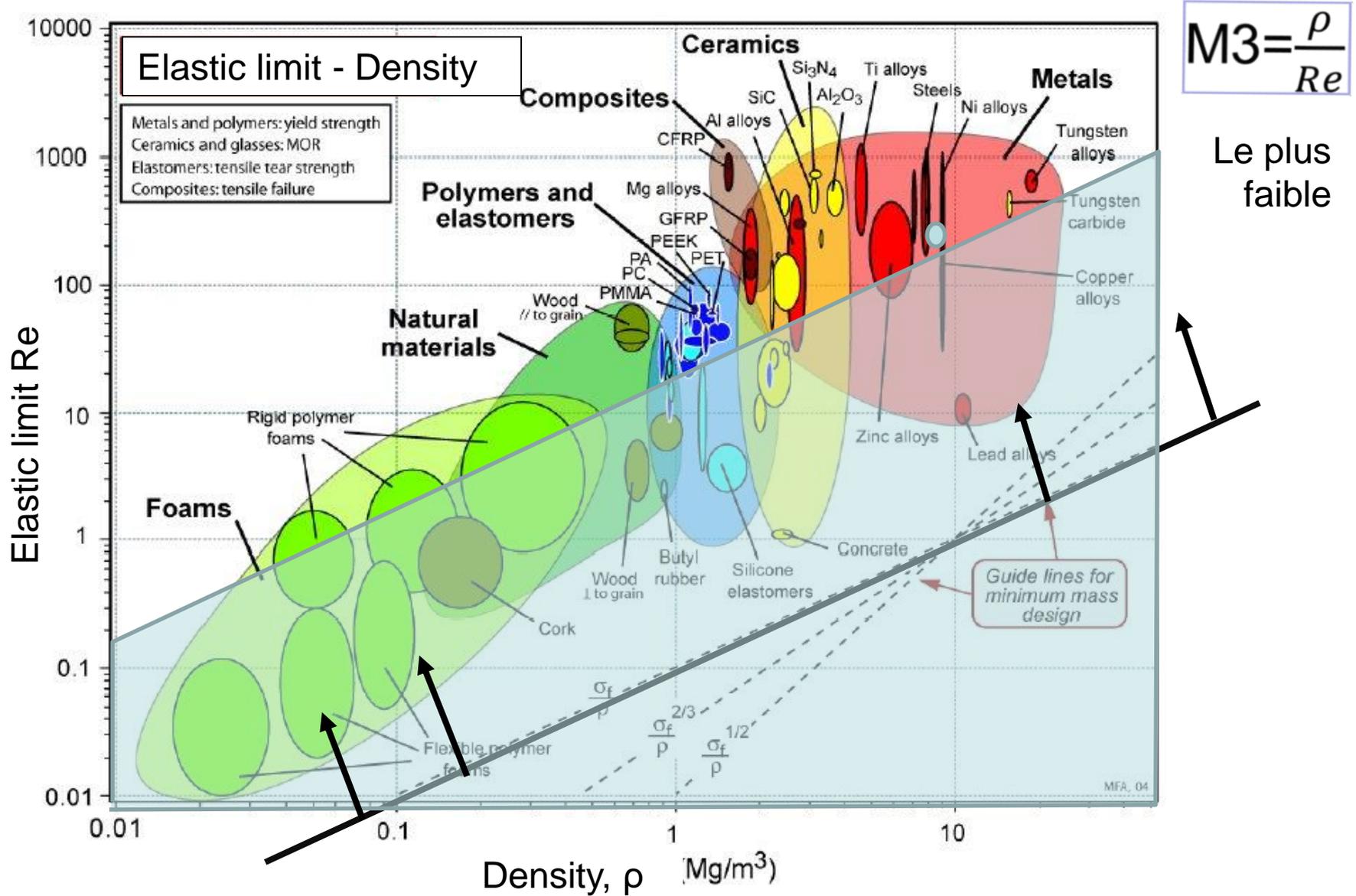
M1=Re

Le plus élevé

$$M2 = \frac{Re}{E}$$

Le plus élevé



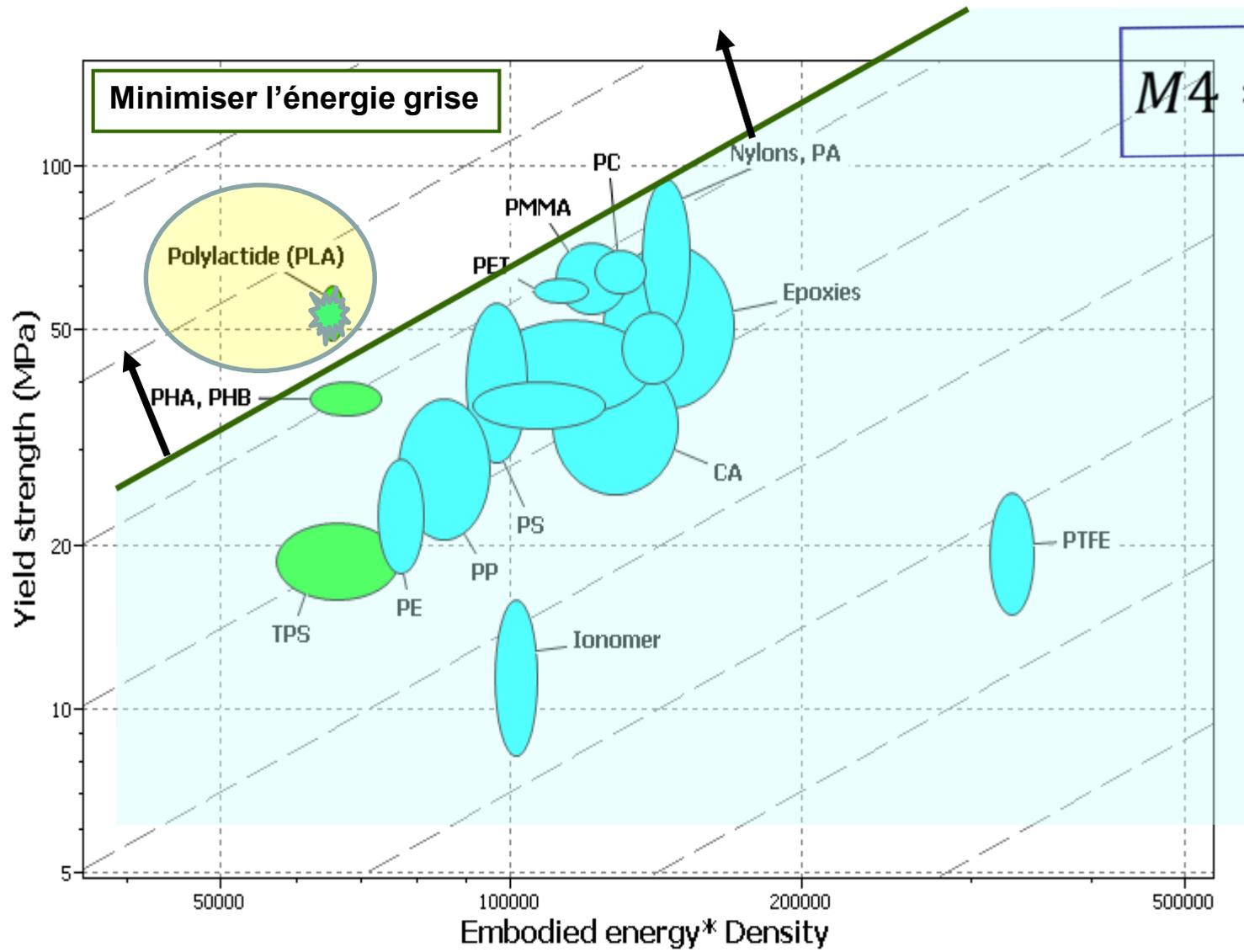


Nom de matériaux bien placés par rapport aux 3 premiers indices

Butyl rubber (IIR)
Carbon black reinforced styrene butadiene rubber (SBR)
Ethylene vinyl acetate (EVA)
Ionomer (I)
Natural rubber (NR)
Polyamides (Nylons, PA)
Polychloroprene (Neoprene, CR)
Polyethylene (PE)
Polyisoprene rubber (IIR)
Polyurethane
Polyurethane (tpPUR)
Rigid Polymer Foam (HD)
Silicone elastomers (SI, Q)
Starch-based thermoplastics (TPS)

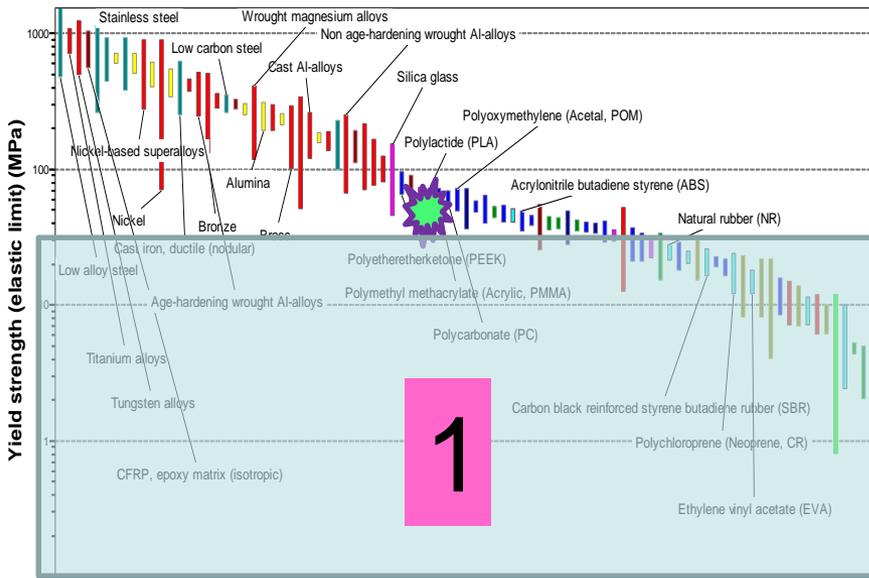
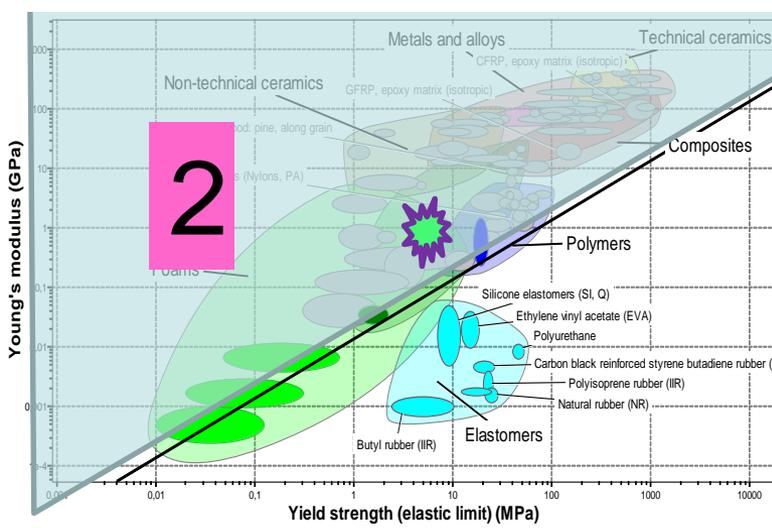
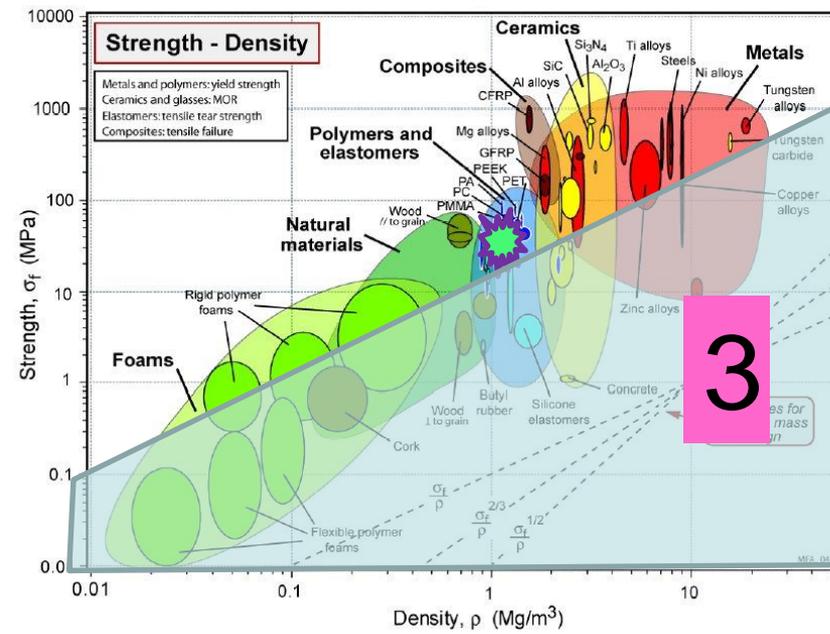
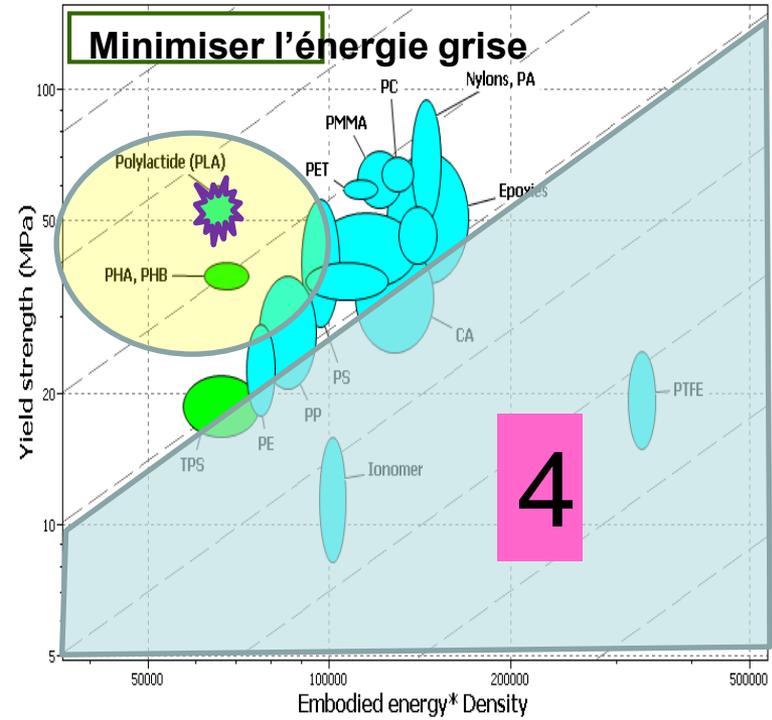
+

DOCUMENTATION
Concernant chacun
de ces matériaux



$$M4 = H_{extrus} \cdot \frac{\rho}{Re}$$

Le plus faible



Poly lactide (PLA)

 Disposition : Main properties
 Afficher/Masquer

Poly lactide, **PLA**, is a biodegradable thermoplastic derived from natural lactic acid from corn, maize or milk. It resembles clear polystyrene, provides good aesthetics (gloss and clarity), but it is stiff and brittle and needs modification using plasticizers for most practical applications. It can be processed like most thermoplastics into fibers, films, thermoformed or injection molded.

Composition (summary) ⓘ

(CH(CH₃)CO₂)_n. The lactic acid is produced from sugar (dextrose) with plant starch origins e.g. corn, wheat, sugar beets and sugar cane.

General properties

Density	ⓘ	1,24e3	-	1,27e3	kg/m ³
Price	ⓘ	* 2,42	-	3,18	EUR/kg
Date first used	ⓘ	1993			

Mechanical properties

Young's modulus	ⓘ	3,31	-	3,58	GPa
Shear modulus	ⓘ	* 1,2	-	1,29	GPa
Bulk modulus	ⓘ	* 5,71	-	6,29	GPa
Poisson's ratio	ⓘ	* 0,38	-	0,4	
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	55,2	-	71,7	MPa
Tensile strength	ⓘ	47	-	70	MPa
Compressive strength	ⓘ	66,2	-	86,1	MPa
Elongation	ⓘ	2,5	-	6	%
Hardness	ⓘ	17	-		MPa
Fatigue	ⓘ	* 22,1			MPa
Fracture toughness	ⓘ	* 3,33			MPa√m

+

DOC.

à

consulter

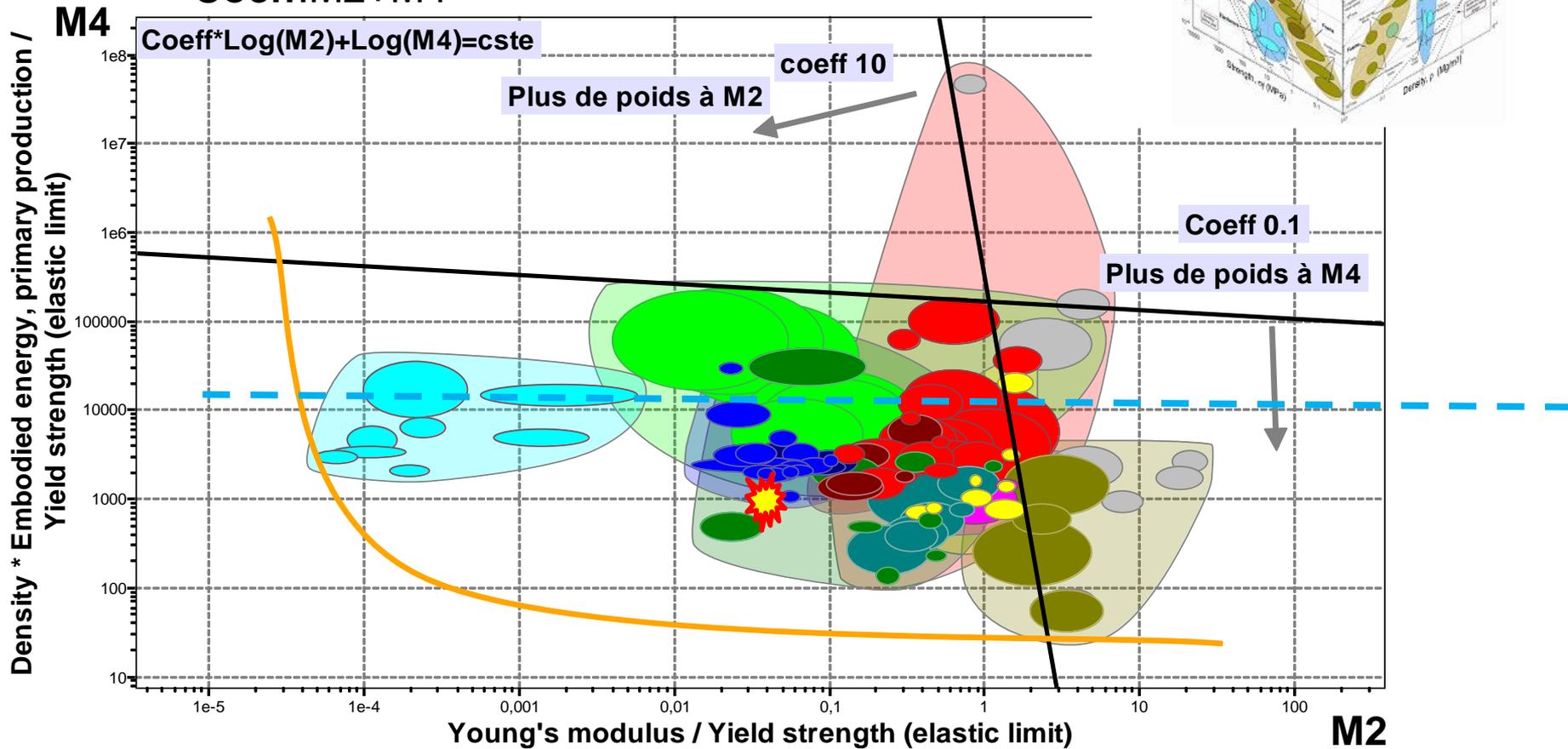
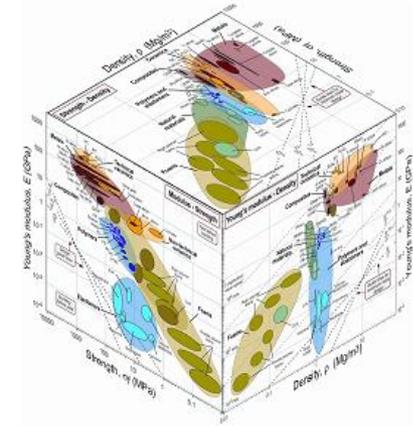
Approche multi-objectif

Objectif = **Limite de propriété**

Ou

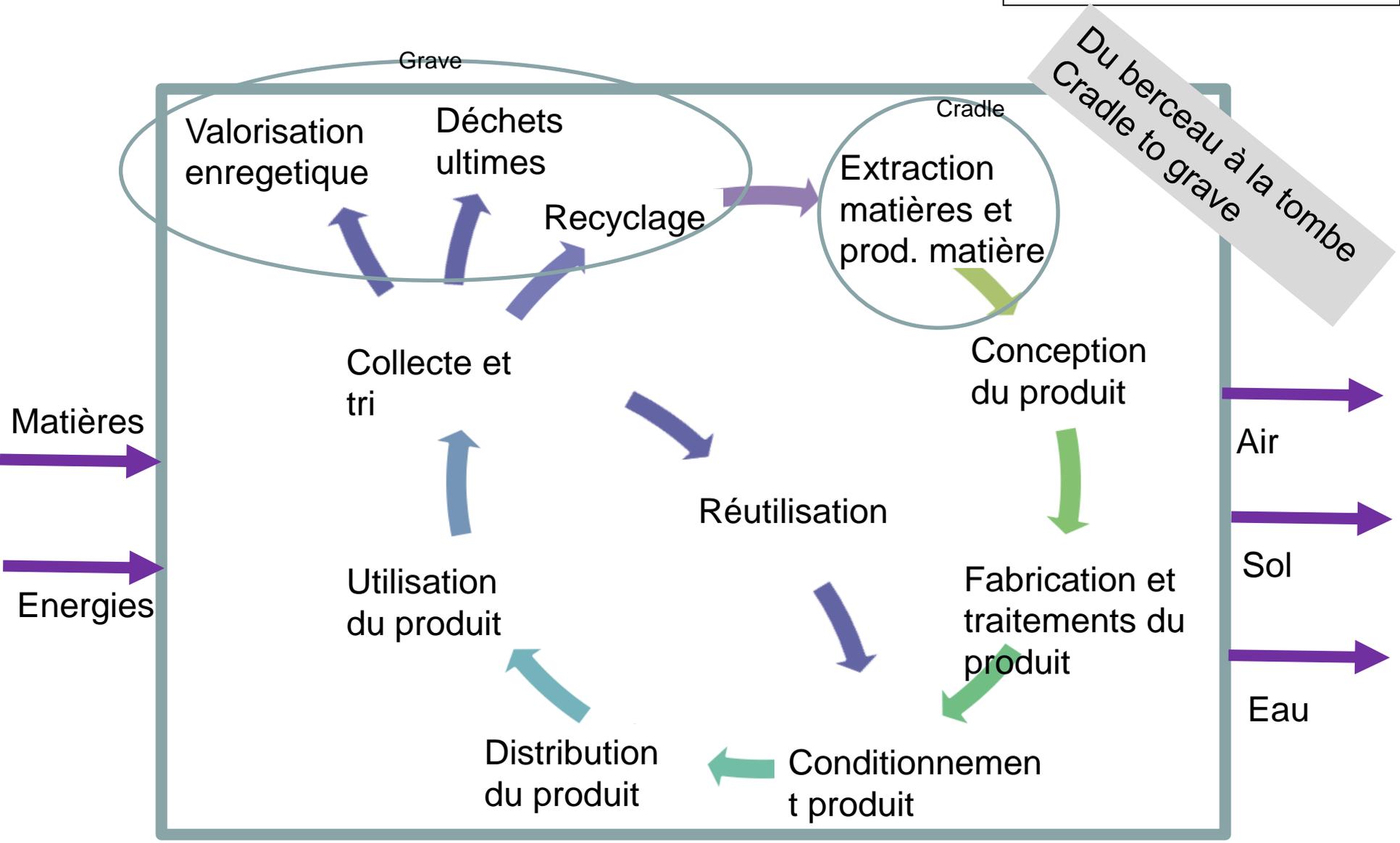
Multi-objectif. Minimiser **fonction d'objectif multi-objectif**

$$\text{Coeff.M2+M4}$$



Approche multi-objectifs = un compromis entre plusieurs objectifs à optimiser

- ❑ Hiérarchisation de ces objectifs**
- ❑ Construction d'une fonction d'échange permettant une relation entre les objectifs et traiter le problème comme mono-objectif**



GUIDELINES sectoriels :

- Liste de recommandations , « de bonnes pratiques »
- Effets non quantifiés

GUIDES, DIRECTIVES et NORMES :

- vues précédemment
- ISO 14004, 14062, 14001, 14020, 14031, 14040

CHECKLISTS :

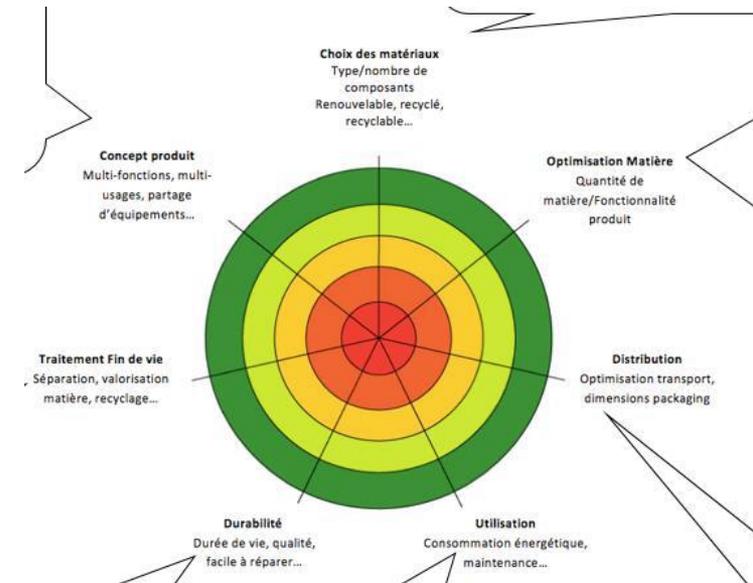
- Liste de points à valider

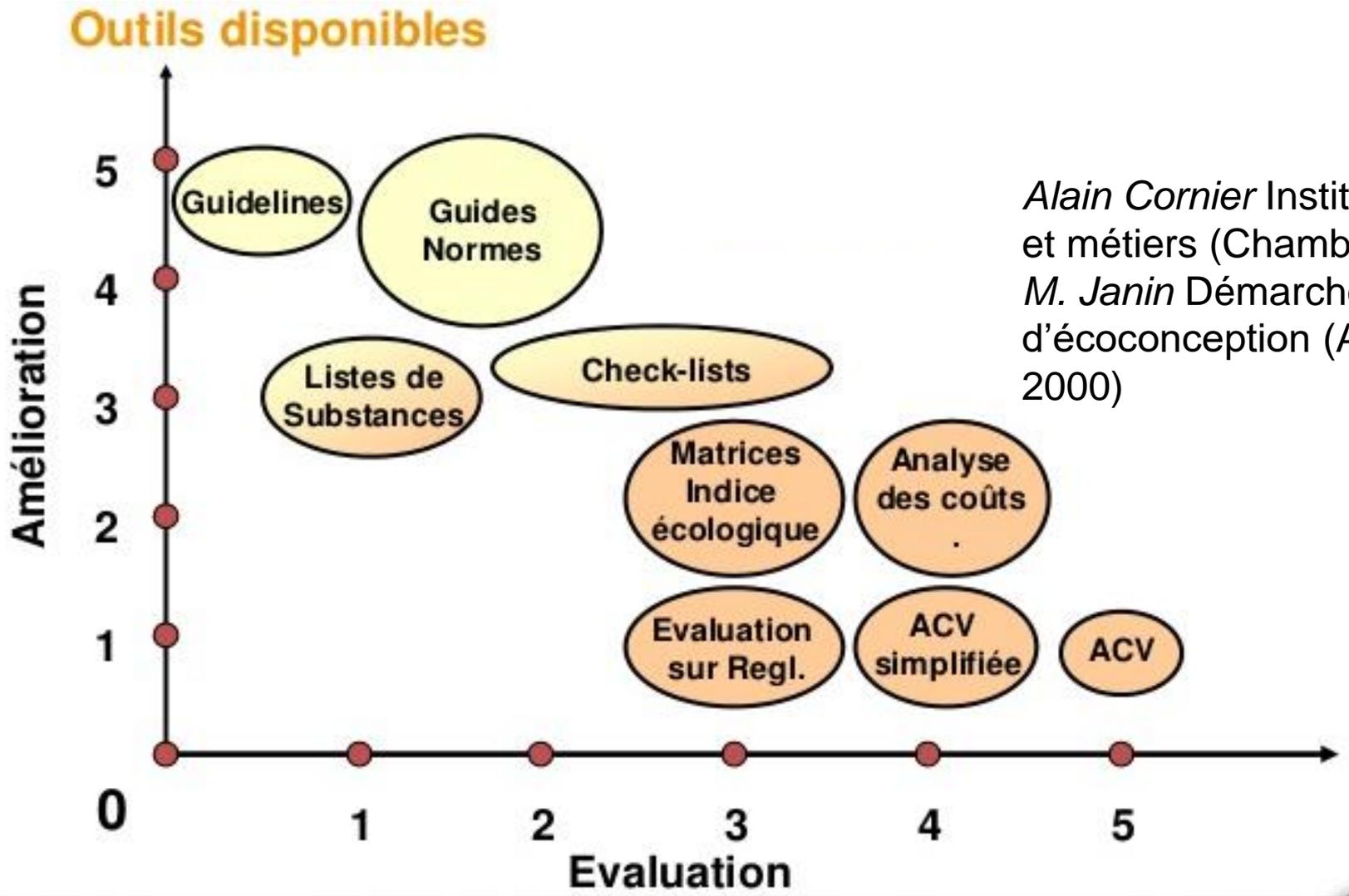
ECOLABELSMATRICE d'INDICE ECOLOGIQUE:

- Okala ou Ecolyzer (note globale en millipoints)

ANALYSE CYCLE DE VIE :

- Inventaire du Cycle de vie des **flux de matière** et des **entrants et sortants** à chaque étape
- Evaluation des impacts environnementaux (et économiques)





Alain Cornier Institut Arts et métiers (Chambery)
M. Janin Démarche d'écoconception (Av. 2000)

ANALYSE CYCLE DE VIE

ISO 14040

- Choix initial
 - UNITE FONCTIONNELLE et
 - FLUX de REFERENCE et
 - FRONTIERES
- Inventaire (BD mondiales)
- Evaluation de l'impact

VERIFICATION – Incertitudes
Approximations et complétude

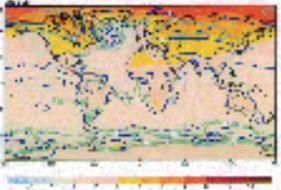
INTERPRETATION et ACTIONS

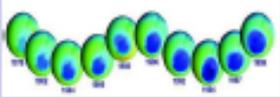
- Différents points de vue?
- Politiques publiques?
- Réparation des dommages?
- Long terme /court terme?
-

LIMITES :

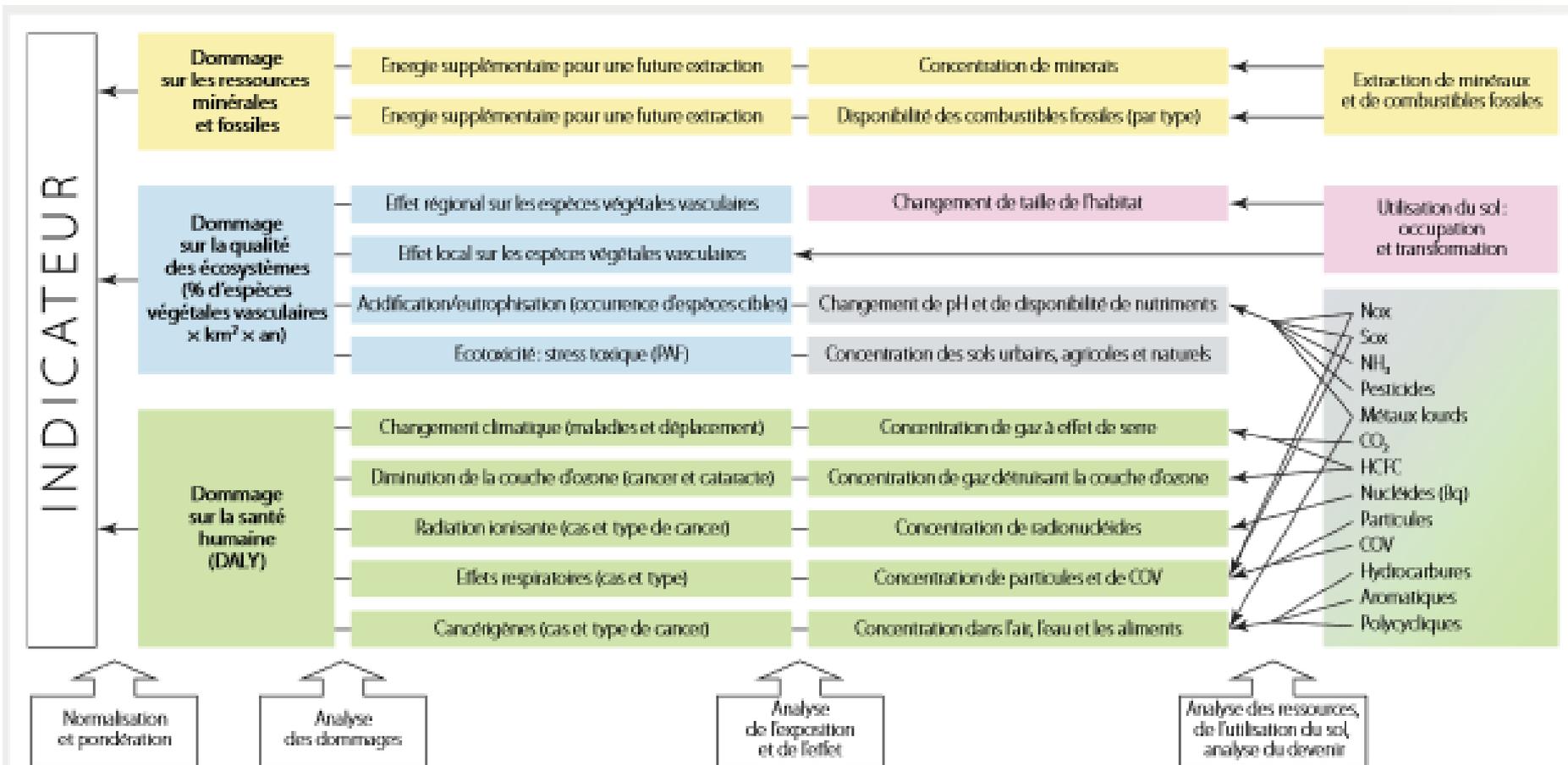
- impacts sociaux (à venir)
- Comparer des impacts différents
- Importance des bases de données - Suprématies
- choix méthodologiques souvent subjectifs

Grand nombre d'Indicateurs et impacts environnementaux
Les principaux :

Indicateurs	Impact concerné
Energie cumulée (MJ) 	Consommation d'énergie renouvelable et non renouvelable sur l'ensemble du cycle de vie.
Épuisement des ressources (kg Sb eq) 	Épuisement de ressources naturelles abiotiques. Concerne les ressources non renouvelables: ressources énergétiques fossiles, minerais, etc. Les ressources sont hiérarchisées par des indices de rareté.
Réchauffement Global (kg CO2 eq) 	Prise en compte des émissions des gaz à effet de serre (CO2, méthane...) qui contribuent au phénomène de réchauffement climatique à l'horizon de 100 ans.
Acidification de l'air (kg SO2 eq) 	Certains composés émis dans l'atmosphère (SO ₂ , NH ₃ , NO _x ...) sont responsables de l'acidification de l'air et des phénomènes de pluies acides.

Liste des indicateurs		Impact concerné
Eutrophisation de l'eau (Kg PO4 eq)		Introduction de nutriments (ex: engrais) dans les milieux aquatiques, conduisant par exemple à la prolifération d'algues et à la destruction de milieux aquatiques.
Destruction de la couche d'ozone (kg CFC 11 eq)		Prise en compte de toutes les substances participant à la destruction de la couche d'ozone stratosphérique.
Toxicité Humaine (kg 1,4 DB eq)		Impact potentiel sur l'Homme des substances du à l'exposition.
Ecotoxicité de l'eau douce (kg 1,4 DB eq)		Prise en compte des substances polluantes émises dans le milieu aquatique (métaux lourds, cyanure...) en eau douce
Oxidation photochimique (kg C2H4 eq)		L'émissions de certaines substances dans la basse atmosphère (COV, CO et NO _x), crée un 'mauvais ozone', souvent visible au dessus des villes. Ce smog a des impacts sur la santé humaine ...

Ex . Méthodologie ECO-indicator 99



La méthodologie d'Eco-indicator 99

Source: Crettaz (P), Joliet (O), Saadé (M), Analyse du cycle de vie: comprendre et réaliser un écobilan, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, coll. Gérer l'environnement, 2005

Cas d'étude : ACV comparative panneaux NFPP vs ABS (par ADEME 2016)



	Panneau NFPP	Panneau ABS
Masse et matériaux des composants	<ul style="list-style-type: none"> NFPP (25 % lin, 25 % chanvre, 50 % PP vierge) : 842 g Inserts techniques (80 % PP vierge, 20 % Fibres de verre) : 204 g 	<ul style="list-style-type: none"> Une seule pièce avec inserts techniques 100% ABS : 1292 g
Masse totale à iso-fonction	1046 g	1292 g

Comparaison sur la base de l'unité fonctionnelle :

Satisfaire le cdc du constructeur automobile i.e.

utilisation d'un panneau de porte avant dans un véhicule essence de type « Routière » pour une distance totale de 150000 kms parcourus pendant 10 ans

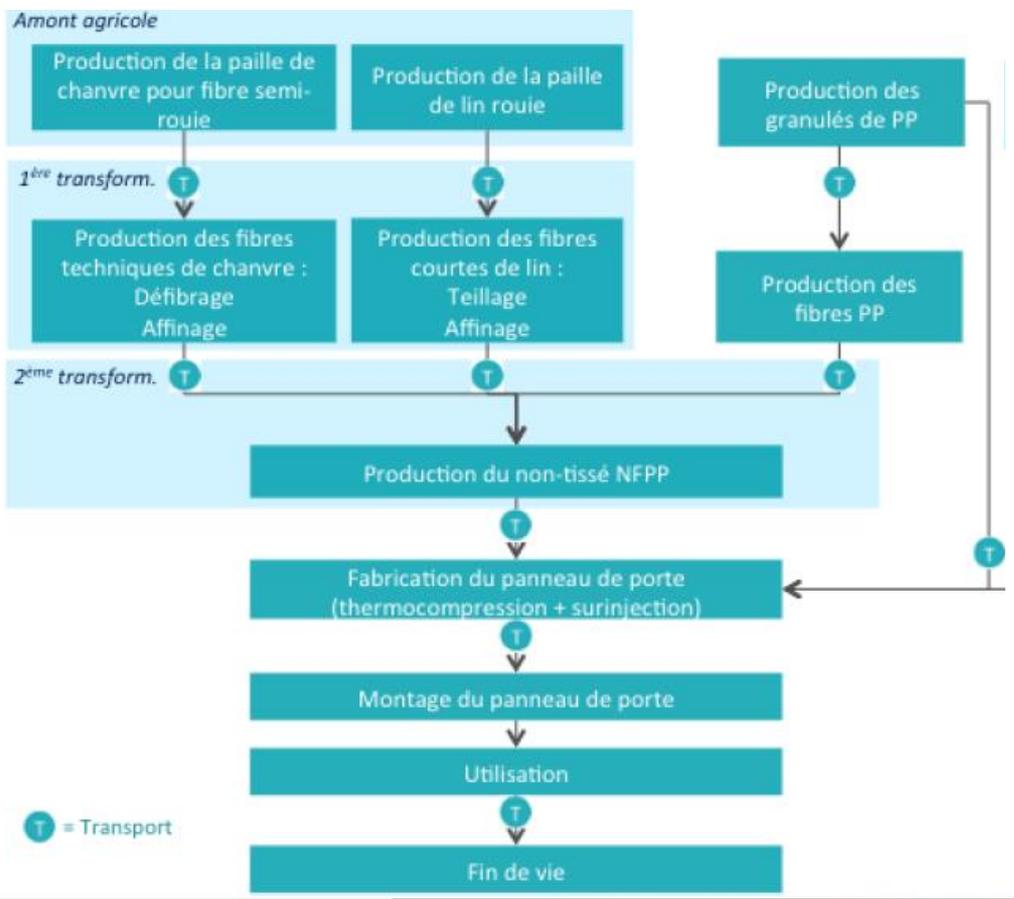
	NFPP (25% lin, 25% chanvre, 50% PP)	ABS
Résistance à la flexion	53MPa	66MPa
Module de flexion	2300MPa	2200MPa
Densité	0.8-0.9	1.04 à 1.06
Recyclage	0%	11%
Incinération	33%	20%
Stockage	67%	60%

	Coproduits issus chanvre	Coproduits issus lin
Champ	Paille 50%	
1 ^{ère} transfo	Fibres 1 60.6%	Fibres 1 12.1%
2 ^{ème} transfo	Fibres 2 94.5%	Fibres 2 94%

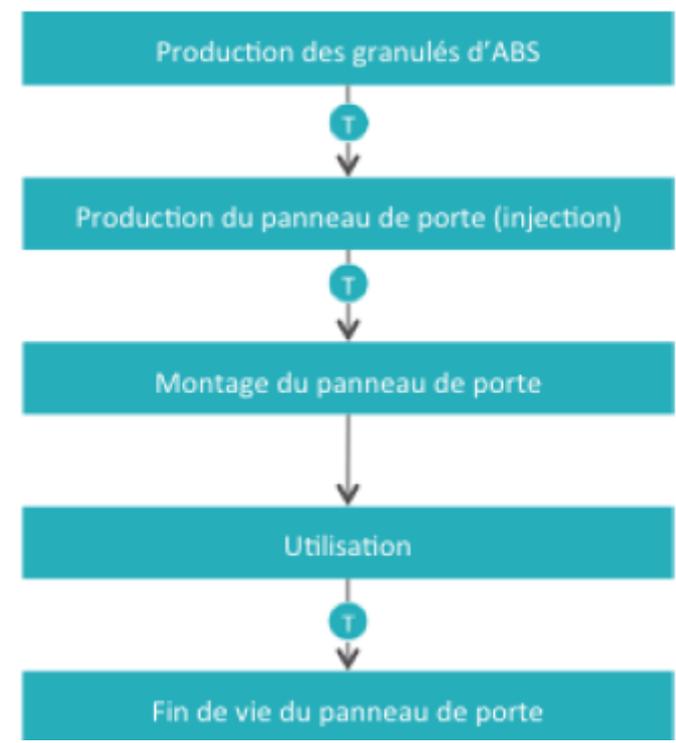
100% à partir de granulés

FRONTIERES DES SYSTEMES ETUDIES

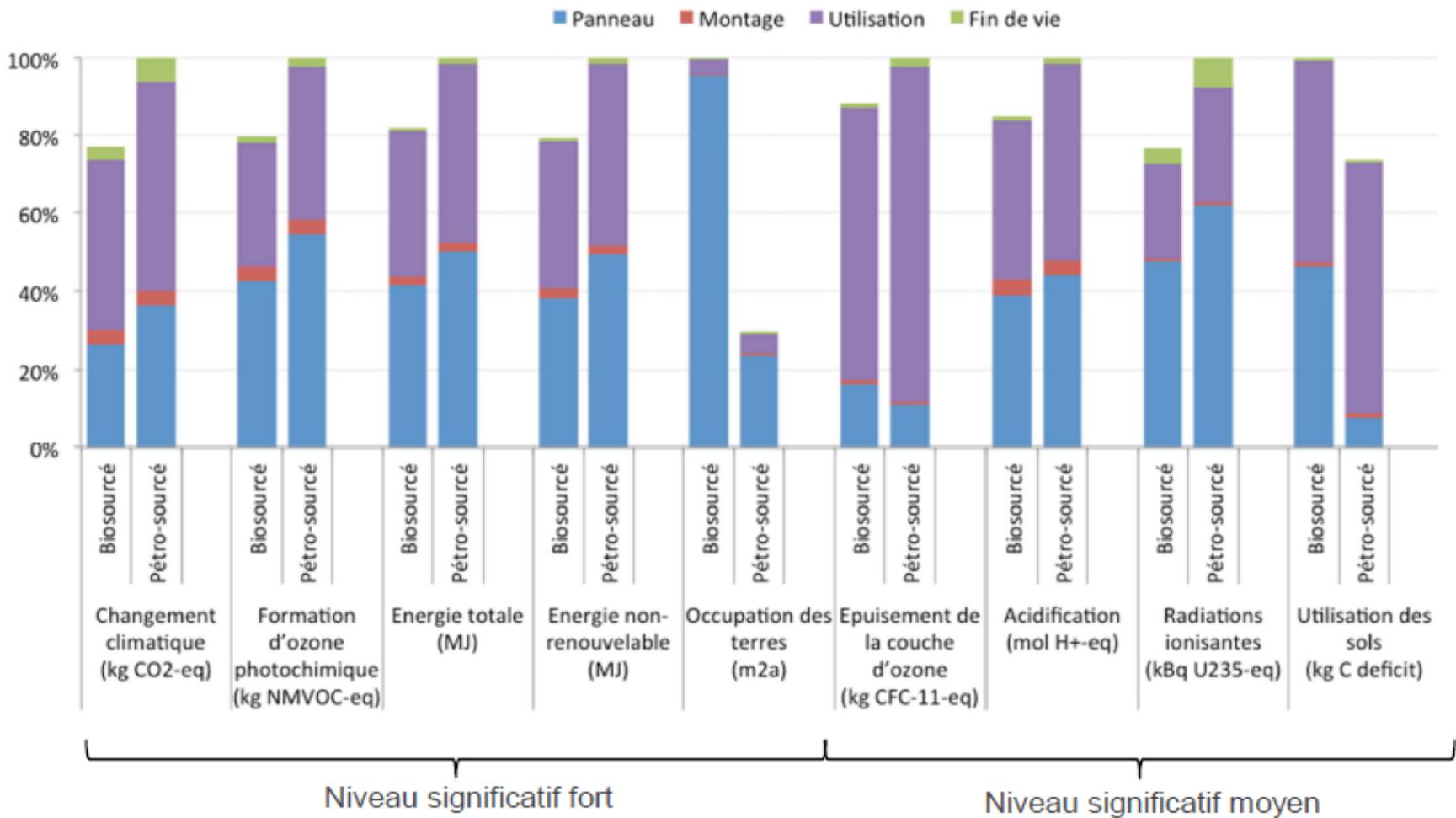
Panneau NFPP (biosourcé)



Panneau ABS (pétrosourcé)



RESULTATS DETAILES PAR ETAPES DU CYCLE DE VIE



ANALYSE DE SENSIBILITE ET D'INCERTITUDES

- Facteurs d'allocation pour les coproduits d'intérêt**
- Méthode de modélisation des scénarios de fin de vie**
- Méthode de prise en compte de certaines émissions**
- Scénario alternatif culture du lin, du chanvre**
- Substances émises pendant la phase d'utilisation**
- Caractérisation de l'écotoxicité et toxicité humaine**
- Mix électrique**
- Indicateur d'épuisement des ressources**

LIMITES DE L'ETUDE

- Utilisation de données de la littérature et de données approchantes pour certains éléments (BD de données spécifiques incomplètes)**
- Méthodes de caractérisation des impacts +/- robustes**
- Conclusions dépendantes des objectifs et du champ de l'étude retenu**

SYNTHESE comparaison

	Robustesse	Incertitude	Sensibilité	Significativité
Changement climatique (kg CO2-eq)	fort	fort	fort	fort
Epuisement de la couche d'ozone (kg CFC-11-eq)	fort	moyen	fort	moyen
Emissions de particules (kg PM2.5-eq)	non sign.	non sign.	fort	non sign.
Formation d'ozone photochimique (kg NMVOC-eq)	fort	fort	fort	fort
Acidification (mol H ⁺ -eq)	moyen	fort	fort	moyen
Eutrophisation aquatique (kg P-eq)	non sign.	moyen	fort	non sign.
Eutrophisation marine (kg N-eq)	non sign.	moyen	fort	non sign.
Eutrophisation terrestre (mol N-eq)	non sign.	moyen	fort	non sign.
Epuisement des ressources minérales, fossiles et ren (kg Sb-eq)	moyen	moyen	non sign.	non sign.
Radiations ionisantes (kBq U235-eq)	moyen	moyen	fort	moyen
Ecotoxicité aquatique (CTUe)	non sign.	non sign.	non sign.	non sign.
Toxicité humaine – cancérigène (CTUh)	non sign.	non sign.	fort	non sign.
Toxicité humaine – non-cancérigène (CTUh)	fort	fort	non sign.	non sign.
Utilisation des sols (kg C deficit)	moyen	moyen	fort	moyen
Energie totale (MJ)	fort	fort	fort	fort
Energie non-renouvelable (MJ)	fort	fort	fort	fort
Occupation des terres (m2a)	fort	fort	fort	fort

-23%

-20%

-18%

-21%

Légende :

Le panneau biosourcé est plus performant que le panneau pétrosourcé, avec un niveau de significativité fort
Le panneau biosourcé est plus performant que le panneau pétrosourcé, avec un niveau de significativité moyen
Ecart non significatif entre les panneaux
Le panneau biosourcé est moins performant que le panneau pétrosourcé, avec un niveau de significativité moyen
Le panneau biosourcé est moins performant que le panneau pétrosourcé, avec un niveau de significativité fort

PISTES D'AMELIORATION DE L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DU PANNEAU

- ❑ Amont agricole
 - Optimisation cultures
 - Optimisation apports azotés, desherbage et travail du sol

- ❑ Procédé de fabrication du panneau
 - Efficacité énergétique des procédés
 - Recyclage des chutes
 - Intégration de PP recyclé
 - Augmentation taux de fibres dans le composite

- ❑ Utilisation

- ❑ Fin de vie du panneau
 - Augmentation taux de recyclage
 - Réutilisation du panneau

CONCLUSIONS

- ❑ Règlements comme contrainte de conception
- ❑ Différents outils permettant un choix en vue de réduire l'impact environnemental lié au matériau
 - **Méthodologie de choix à partir de l'indice de performance** matériau (optimisation) - peut intégrer un indicateur d'impact environnemental (énergie ou recyclabilité)
 - Analyse de cycle de vie = vecteur d'éco-conception

Merci de votre attention

Sources de données:

- Logiciel CES Edupack plus de 3000 nuances de matériaux caractéristiques physiques et environnementales. Choix technique possible
- Outil de l'ADEME Base Impact
- SIMAPRO, base de données données environnementales avec sources bibliographiques bien renseignées

- www.materio.fr