

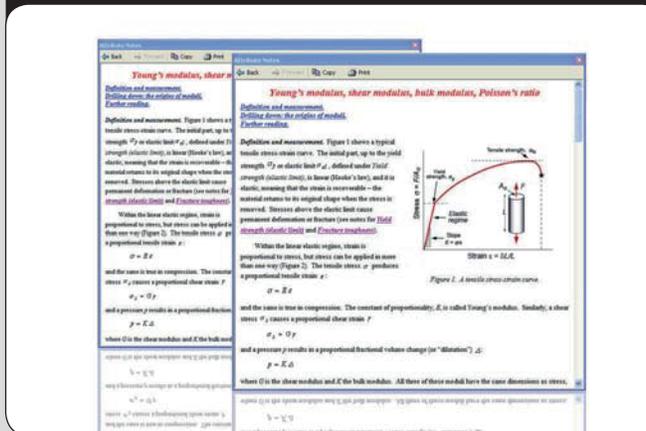
# Vue d'ensemble de CES EduPack

## Informations des Matériaux et des Procédés



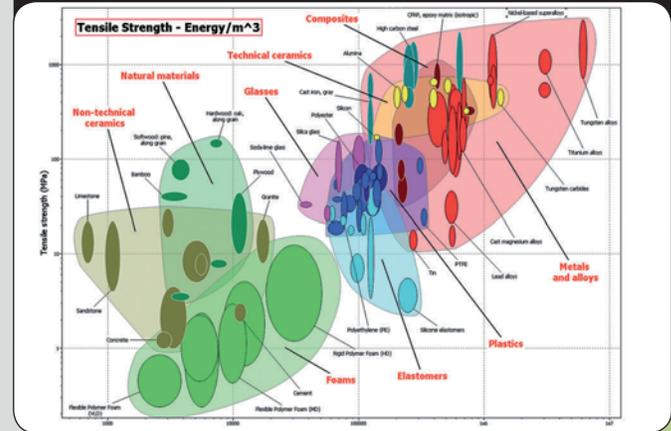
3 Niveaux d'utilisation pour des cours d'Introduction jusqu'à la réalisation de projets couvrant plus de 3000 matériaux.

## Notes Scientifiques



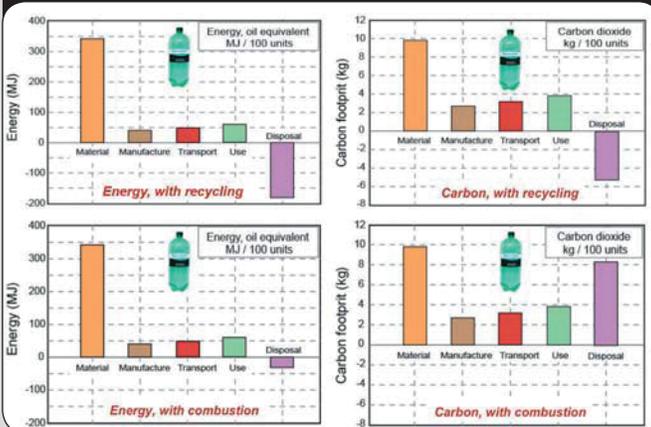
Définitions scientifiques extraites de manuels standards avec un référencement aux livres d'Ashby, Askeland, Callister, Shackelford et plus...

## Diagramme Interactifs



Outil unique de comparaison et d'analyse des propriétés et de sélection des matériaux et des procédés.

## Outil Eco Audit



Introduction aux concepts clés de l'éco conception et de la durabilité. Il permet d'analyser les différents scénarios de conception.

## Bases de Données Spécialisées

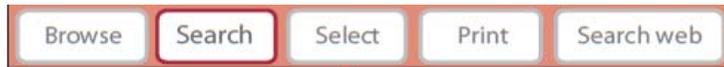


Editions pour la conception, l'éco conception, les polymères, la bio ingénierie, l'architecture et le génie civil.

## Autres logiciels spécialisés



Construisez votre propre base de données avec CES Selector. CES Selector et Granta MI sont utilisés dans l'enseignement spécialisé, la recherche et l'industrie.



Choose data-table:  
materials, processes ...

New

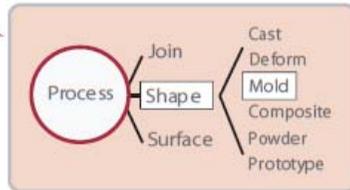
● Graph stage



● Limit stage

	Min	Max
Density	<input type="text"/>	<input type="text" value="2"/>
Modulus	<input type="text" value="200"/>	<input type="text"/>
Strength	<input type="text" value="100"/>	<input type="text"/>
T-conduction	<input type="text"/>	<input type="text" value="10"/>

● Tree stage



## Bien démarrer avec CES Edupack

Professor Mike Ashby

Department of Engineering  
University of Cambridge



## Bien démarrer avec CES Edupack

Ces exercices permettent d'apprendre à utiliser facilement le logiciel CES Edupack.  
Le fichier d'aide ainsi que le tutoriel fournis avec le logiciel vous apporteront plus de détails si nécessaire.

### Aperçu de CES Edupack

#### Le logiciel CES Edupack a trois niveaux de bases de données :

	Couverture	Contenu
<i>Niveau 1</i>	70 des matériaux les plus communément utilisés et classés dans les familles suivantes : métaux, polymères, céramiques, composites, mousses et matériaux naturels. 70 des procédés les plus importants.	Une description, une image du matériau dans un produit connu, les applications typiques et des données limitées sur les propriétés mécaniques, thermiques et électriques.
<i>Niveau 2</i>	100 des matériaux et 110 des procédés les plus utilisés de part le monde.	Tout le contenu du niveau 1, additionné de données numériques plus complètes, de recommandations pour la conception, de propriétés écologiques et de notes techniques.
<i>Niveau 3</i>	Le cœur de la base de données contient plus de 3 000 matériaux, y compris ceux des niveaux 1 et 2. Des éditions spécialisées permettent de couvrir également des domaines comme : l'aéronautique, les polymères, l'architecture, la bio ingénierie et l'éco conception.	Les données numériques sont complètes pour tous les matériaux, permettant ainsi de déployer complètement la puissance de sélection de CES.

Lorsque le logiciel démarre, vous devez sélectionner un niveau. Choisir le niveau 1 pour commencer.

#### A chaque niveau, plusieurs tables sont disponibles.

Les principales sont : Matériaux et Procédés.

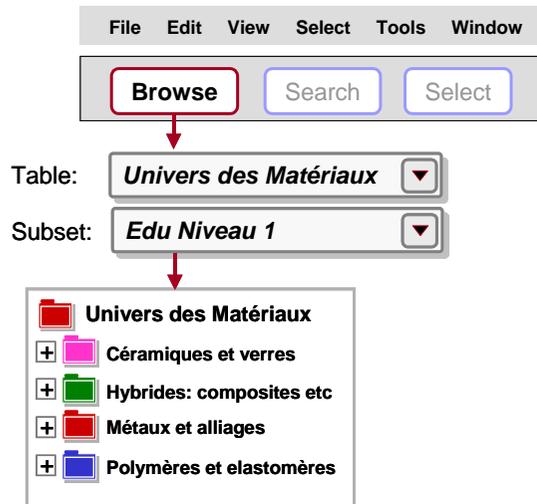
#### Chaque niveau peut être parcouru par :

- **BROWSE** Parcourir une base de données, ouvrir des fiches, imprimer et exporter le contenu.
- **SEARCH** Recherche texte dans toute la base de donnée.
- **SELECT** Sélection des matériaux ou des procédés par une combinaison de critères de conception.

Les possibilités de la plate-forme CES Edupack sont plus larges mais il s'agit des fonctions les plus importantes.

## Parcourir et rechercher

Ouvrir CES EduPack au NIVEAU 1. La table de donnée par défaut est : Univers des Matériaux



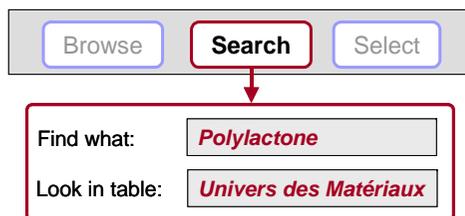
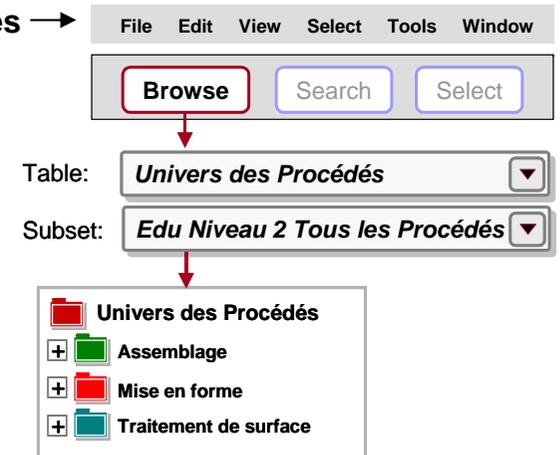
### Exercice 1. Parcourir la base de données matériaux

- Trouvez la fiche de l'ACIER INOXYDABLE
- Trouvez la fiche du BÉTON
- Trouver la fiche du POLYPROPYLENE
- Explorez les informations sur le POLYPROPYLENE, au NIVEAU 2
- Trouvez les procédés permettant la mise en forme du POLYPROPYLENE, en utilisant le lien en bas de page (LINK)

### Exercice 2. Parcourir la base de données procédés

Sélectionnez NIVEAU 2, tous les procédés

- Trouvez la fiche de MOULAGE PAR INJECTION
- Trouvez la fiche de DURCISSEMENT PAR LASER
- Trouvez la fiche de SOUDAGE PAR FRICTION (MÉTAUX)
- Trouvez tous les matériaux utilisable avec MOULAGE SOUS PRESSION en utilisant le lien en bas de page (LINK)



### Exercice 3. La recherche textuelle

- Trouvez le matériau POLYLACTONE
- Trouvez les matériaux pour OUTILS DE COUPE
- Trouvez le procédé RTM

(Des extraits de fiches de matériaux et de procédés sont présentés page suivante)

**Extrait d'une fiche de matériau : le polypropylène**

**Polypropylène (PP) (CH<sub>2</sub>-CH(CH<sub>3</sub>))<sub>n</sub>**

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 oeuvre 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 branchements latéraux 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 étiré. Dans sa forme pure, le polypropylène est inflammable et se dégrade à la lumière solaire. Des ignifugeants peuvent ralentir sa combustion et des stabilisants lui donner une très bonne stabilité tant aux rayonnements UV qu'à l'eau douce ou salée ainsi qu'à la plupart des solutions aqueuses.



**Propriétés Générales**

Densité	890	-	910	kg/m <sup>3</sup>
Prix	1.102	-	1.61	USD/kg

**Propriétés Mécaniques**

Module de Young	0.896	-	1.55	GPa
Module de cisaillement	0.3158	-	0.5483	GPa
Module de compressibilité	2.5	-	2.6	GPa
Coefficient de Poisson	0.4052	-	0.4269	
Mesure de dureté Vickers	6.2	-	11.2	HV
Limite élastique	20.7	-	37.2	MPa
Résistance en traction	27.6	-	41.4	MPa
Résistance à la compression	25.1	-	55.2	MPa
Elongation	100	-	600	%
Limite de fatigue	11.04	-	16.56	MPa
Ténacité	3	-	4.5	MPa.m <sup>1/2</sup>
Coefficient d'amortissement	0.02581	-	0.04464	

**Propriétés Thermiques**

Conducteur ou isolant thermique ?	Bon isolant
Conductivité thermique	0.113 - 0.167 W/m.K
Coefficient de dilatation	122.4 - 180 µstrain/K
Chaleur spécifique	1870 - 1956 J/kg.K
Température de fusion	423 - 448 K
Température de transition vitreuse	248 - 258 K
Température maximale d'utilisation	356 - 380 K
Température minimale d'utilisation	150 - 200 K

**Propriétés Electriques**

Conducteur ou isolant électrique ?	Bon isolant
Résistivité électrique	3.3e22 - 3e23 µohm.cm
Constante diélectrique	2.2 - 2.3
Facteur de puissance	5e-4 - 7e-4
Tension de claquage	22.7 - 24.6 1e6*V/m

**Recommandations pour la conception**

Le PP standard est bon marché, léger et ductile 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 craie ou du talc. Lorsqu'il est étiré en fibre, le PP a une résistance et une résilience exceptionnelle; Ceci, ainsi que sa résistance à l'eau, en font un matériau intéressant pour les cordages et les tissus. 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 moussé. Les développements des catalyseurs promettent de nouveaux copolymères de PP avec des combinaisons plus intéressantes de résistance aux chocs, stabilité et facilité de mise en oeuvre. Les fibres monofilaments ont une haute résistance à l'abrasion et sont presque deux fois plus tenaces que les fibres PE. Les fils multibrins ou les cordes n'absorbent pas l'eau, flottent sur l'eau et se colorent facilement.

**Notes techniques**

Les nombreux grades de polypropylène tombent dans trois groupes de base : les homopolymères (polypropylènes avec toute 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 (polypropylènes renforcés avec du mica, des billes ou des fibres de verre..) qui sont plus rigides et résistent mieux à la chaleur que de simples polypropylènes.

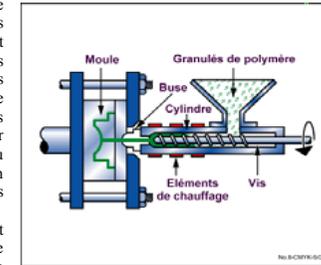
**Applications typiques**

Cordages, pièces techniques, conduites d'air, filtres à air, et plages arrière pour l'automobile, mobilier de jardin, tambour de machines à laver, boîtier de batterie, tuyaux et raccords, casiers de bouteilles de bière, coques de chaise, capacités diélectriques, isolation de câbles, bouilloires, pare-chocs de voiture, vitrage anti-effraction; casiers de manutention, valises, gazon synthétique, sous-vêtements thermiques.

**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 emballages 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'allégés permet la production économique de grandes pièces moulées en utilisant un gaz 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'oeuvre	Faible

**Caractéristiques du procédé**

Discontinu	True
------------	------

**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 surmouler sur des étiquettes décoratives qui apparaissent à la surface des pièces (voir décoration dans le moule). La seule opération de finition est le décarottage.

**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 particulières) 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 certaines caractéristiques (i.e. contre-dépouilles, parties filetées 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 fondu s'accumule 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 masse 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**

Extrêmement varié. Des capots, des récipients, des couvercles, des boutons, des poignées d'outils, des pièces de plomberie, des lentilles etc.

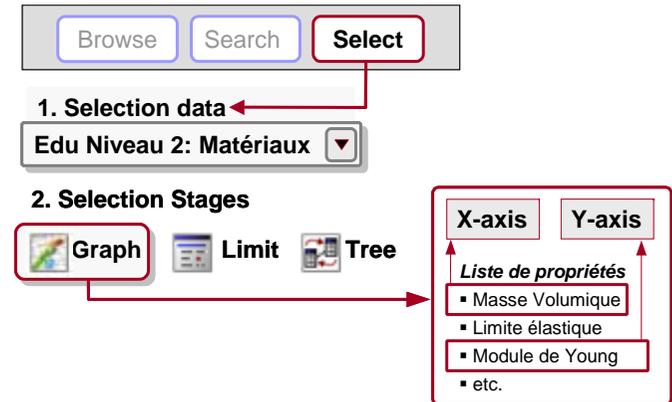
**Les données économiques**

Le coût en capital est moyen à élevé, les coûts d'outillage sont d'habitude élevés - ce qui rend le moulage par injection économique uniquement 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

## DIAGRAMMES DE PROPRIÉTÉS

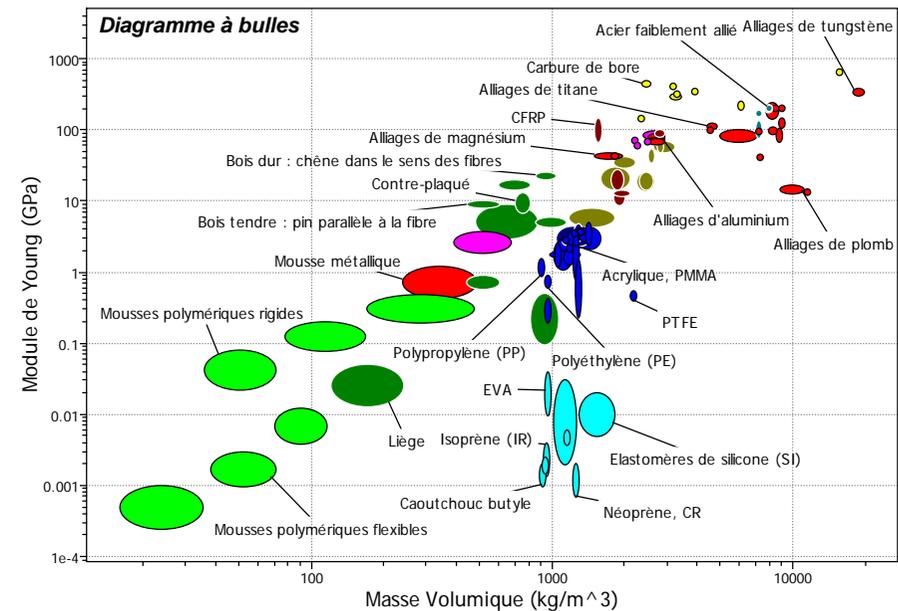
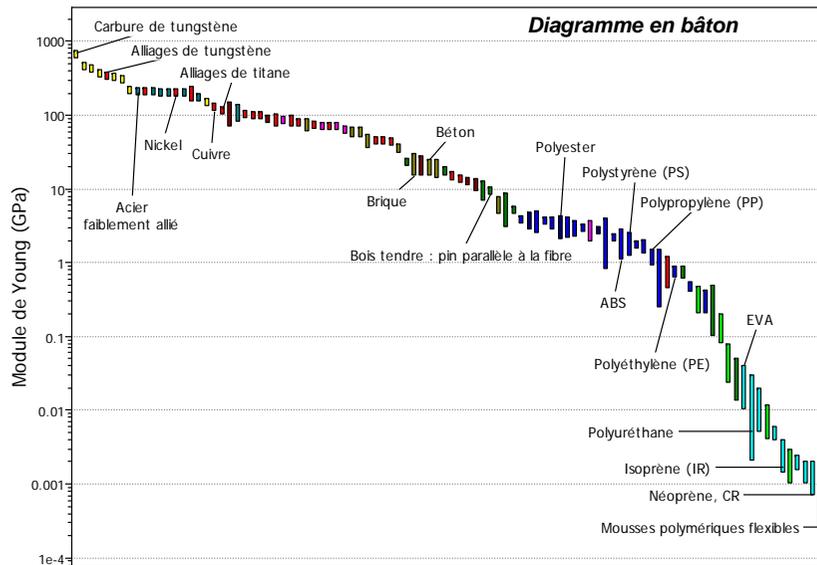
### Exercice 4. Construire des diagrammes de propriétés

- Sélectionnez l'Univers des Matériaux: Niveau 2, Matériaux
- Faites un graphique en bâton du Module d'Young (E)  
(Choisissez Module d'Young sur l'axe des ordonnées ; laissez l'axe des abscisses à <None>)  
(Cliquez sur quelques matériaux pour faire apparaître leurs noms (labels) ; double-cliquez sur un matériau pour visualiser sa fiche)
- Faites un diagramme à bulle du Module d'Young (E) et de la Masse volumique ( $\rho$ )  
(Configurez les axes x et y ; par défaut, il s'agit d'un diagramme log-log)  
(Les labels peuvent être affichés comme précédemment – cliquez et faites les glisser ; appuyez sur Suppr. pour les faire disparaître)



### EFFACEZ LE GRAPHIQUE

(Cliquez droit sur le "graph stage" puis "Delete")



## SÉLECTION PAR ENCADREMENT

### Exercice 5. Sélection avec le « LIMIT stage »

- Trouvez les matériaux répondant aux critères suivants :

Température maximale d'utilisation > 200 °C

Conductivité thermique > 25 W/m.°C

Conducteur ou isolant électrique = bon isolant

(Entrez les limites – minimum ou maximum selon les cas – et cliquez sur “Apply”)

(Résultats pour les niveaux 1 et 2 :  
Alumine, Nitrure d'aluminium, Nitrure de silicium)

EFFACEZ CETTE ÉTAPE

**1. Selection data**

Edu Niveau 2: Matériaux

**2. Selection Stages**

Graph Limit Tree

**Results** **Ranking**

X out of 95 pass Prop 1 Prop 2

Matériel 1	2230	113
Matériel 2	2100	300
Matériel 3	1950	5.6
Matériel 4	1876	47
etc...		

**L'étape des limites**

Propriétés mécaniques

Propriétés thermiques

	Min.	Max.	
Temp. max. d'utilisation	200		°C
Conductivité thermique	25		W/m.°C
Chaleur spécifique			J/kg.°C

Propriétés électriques

Conducteur ou isolant électrique?

Bon conducteur  
 Mauvais conducteur  
 Semiconducteur  
 Mauvais isolant  
 Bon isolant

Barres d'aide pour les limites

Céramiques et verres  
Composites  
Métaux et alliages  
Polymères et élastomères

01 100

## SÉLECTION GRAPHIQUE

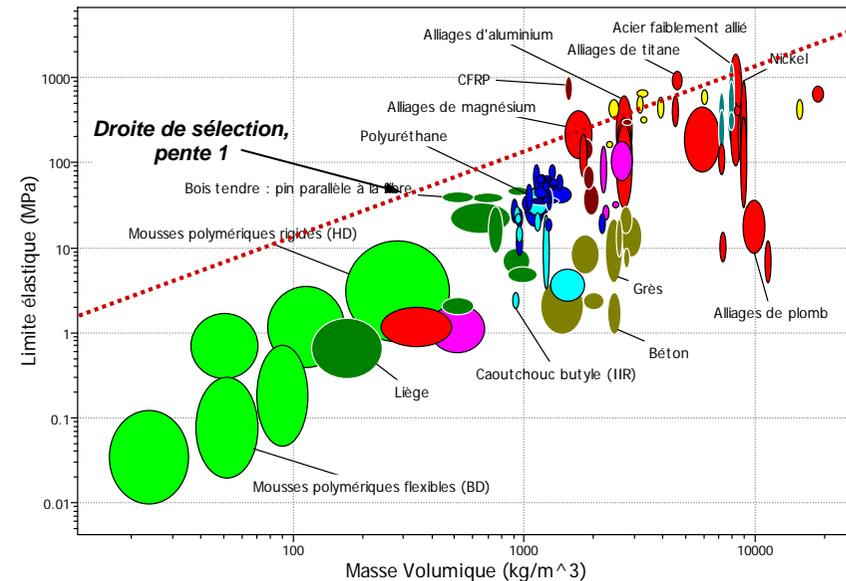
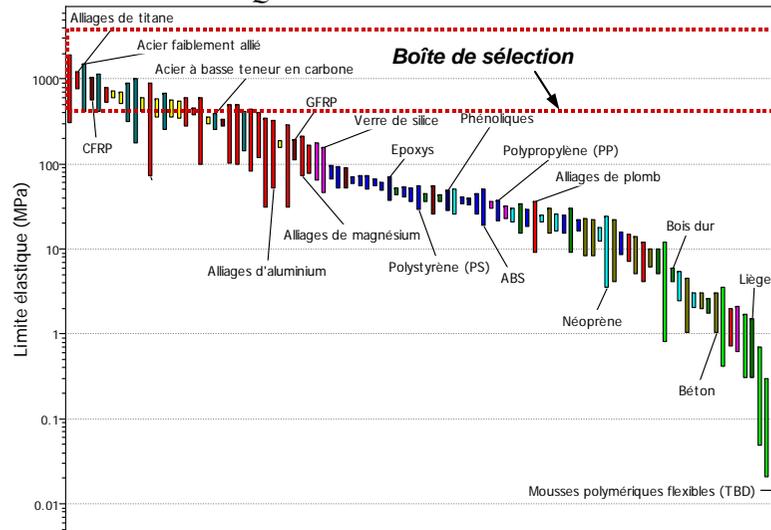
### Exercice 6. Sélection avec un « GRAPH stage »

- Faites un graphique en bâton de la limite élastique ( $\sigma_y$ ), sur l'axe des y
- Utilisez la boîte de sélection  pour déterminer les matériaux à limite élastique élevée (Cliquez sur l'icône rectangulaire, puis "cliquer-glisser" pour tracer le rectangle de sélection)
- Ajoutez, sur l'autre axe, la masse volumique ( $\rho$ ) (Pour cela : sélectionnez Stage 1 dans la zone "Selection Stages", et cliquez sur Edit ; ou double cliquez sur l'axe x pour l'éditer)
- Sélectionnez les matériaux à faible densité et à la limite élastique élevée à l'aide de la boîte de sélection
- Remplacez le rectangle par une sélection par une droite  pour trouver les matériaux à "résistance spécifique" élevée ( $\sigma_y / \rho$ ) (Cliquez sur l'icône "droite", ensuite entrez la valeur pour "slope" (pente) – 1 ici – cliquez sur le graphique pour positionner la droite et cliquez de nouveau pour choisir la partie du graphique désirée, c.a.d. au dessus de la ligne pour les hautes valeurs de  $\sigma_y / \rho$ . Ensuite, faites glisser la ligne pour affiner la sélection à seulement 2 matériaux.)

(Résultats pour les niveaux 1 et 2: Composites renforcés de fibres de carbone (CFRP, isotropique), Alliages de titane, Alliages de magnésium, ...)

Results	Ranking	Ranking
X out of 95 pass	Prop 1	Prop 2
Matériel 1	2230	113
Matériel 2	2100	300
Matériel 3	1950	5.6
Matériel 4	1876	47
etc...		

### EFFACEZ LE GRAPHIQUE



## SÉLECTION PAR ARBORESCENCE

### Exercice 7. Sélection avec « TREE stage »

- Trouvez les **matériaux** pouvant être moulés

*(Dans le “Tree Stage”, sélectionnez Univers des Procédés, ouvrez “Mise en forme”, sélectionnez “Moulage”, cliquez “Insert”, puis sur OK)*

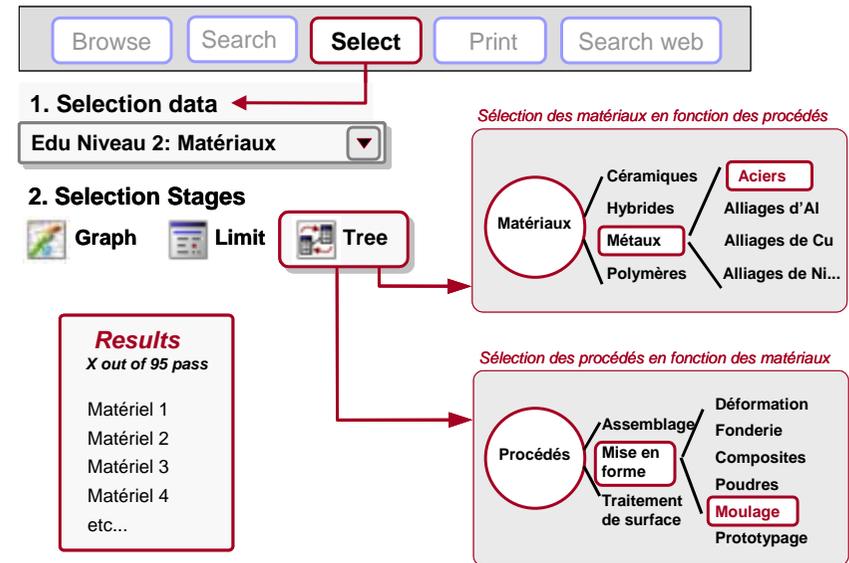
EFFACEZ L'ETAPE DE SELECTION

- Trouver les procédés permettant d'assembler des Aciers

*(Commencez par changer la table dans laquelle est faite la recherche dans le menu “Selection Data” pour choisir Edu Niveau 2 Procédés d'assemblage)*

*(Ensuite, dans la fenêtre “Tree Stage”, sélectionnez Univers des Matériaux, Métaux et alliages, sélectionnez les “alliages ferreux”, et cliquez sur Insert, puis sur OK)*

EFFACEZ L'ETAPE DE SELECTION



## JOINDRE LES ÉTAPES ENSEMBLE

### Exercice 8. Utiliser les 3 étapes ensemble

Sélectionnez l'Univers des Matériaux : Edu Niveau 2

Trouvez les matériaux répondant aux critères suivants :

- Masse volumique < 2000 kg/m<sup>3</sup>
- Limite élastique > 60 MPa
- Conductivité thermique < 10 W/m.°C  
(3 sélections dans le "Limit Stage")
- Aptitude à être moulé  
(Tree Stage: Univers des Procédés – Mise en forme – Moulage)
- Classez les résultats par Prix  
(Graph Stage : diagramme en bâton des prix)  
(Sur le dernier graphique, cliquez sur l'icône "Result Intersection",  
représentant un petit diagramme d'Euler ; les matériaux ne répondant pas  
à au moins un critère sont grisés ; faites apparaître les noms des matériaux  
restants, qui répondent à tous les critères. La fenêtre "Results" liste  
tous les matériaux compatibles avec l'ensemble de ces critères.)

(Résultats par prix croissants : PET, Epoxys, PMMA, ...)

### Exercice 9. Trouver des informations supplémentaires

(Nécessite une connexion Internet)

- Ouvrez la fiche du Polyéthylène téréphthalate puis cliquez sur le bouton Search Web  
(CES traduit les identifiants de matériaux en chaînes de caractères compatibles  
avec des sources d'information de qualité de matériaux et de procédés et transmet les liens.  
Certaines sources sont en libre accès, d'autres nécessitent d'être abonné.  
Les sources provenant de l'ASM sont particulièrement recommandées.)

EFFACEZ LA SELECTION

**1. Selection data**  
Edu Niveau 2: Matériaux

**2. Selection Stages**  
Graph Limit Tree

**Sélection par étapes**  
Procédés: Assemblage, Mise en forme, Traitement de surface, Déformation, Fonderie, Composites, Poudres, Moulage, Prototypage

	Min	Max
Mass Volumique		2000
Module de Young		
Limite élastique	60	
Conductivité thermique		10

**Intersection des 3 étapes**

Results	Ranking	
X out of 95 pass	Prop 1	Prop 2
Matériel 1	2230	113
Matériel 2	2100	300
Matériel 3	1950	5.6
etc...		

**Prix**

## SÉLECTION DE PROCÉDÉS

### Exercice 10. Sélectionner un procédé

Sélectionnez “Edu Niveau 2 : Procédés de mise en forme”

Trouvez les procédés de mise en forme primaires répondant aux critères suivants :

- Gamme de poids = 10 – 12 kg
- Gamme d'épaisseurs de section < 4 mm
- Forme = Tôle bombée
- Taille de la série > 1000  
(5 sélections dans un Limit Stage)
- Fait en Thermoplastique  
(Tree Stage: Univers des Matériaux – Polymères et elastomères – Polymères – Thermoplastiques)

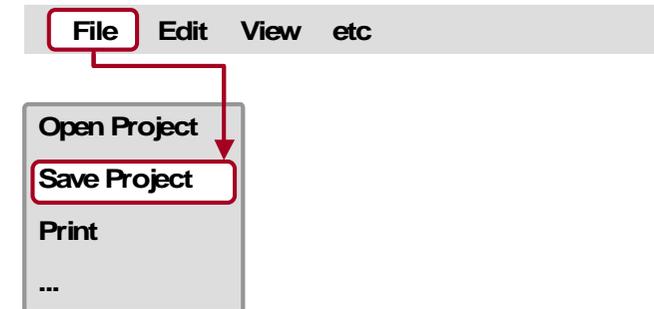
(Résultats: Moulage par compression, Moulage par rotation ou rotomoulage, Thermoformage)

The screenshot shows the CES EduPack interface. At the top, there are buttons for 'Browse', 'Search', 'Select', 'Print', and 'Search web'. The 'Select' button is highlighted with a red box. Below this, a dropdown menu is set to 'Edu Niveau 2: Procédés de Mise en Forme'. Under the '2. Selection Stages' section, there are three buttons: 'Graph', 'Limit', and 'Tree'. The 'Limit' and 'Tree' buttons are highlighted with red boxes. The 'Limit' stage is active, showing a form with the following fields: 'Forme' (Tôle bombée checked), 'Attributs physiques' (Gamme de poids: 10-12, Epaisseurs de section: 4-4), 'Caractéristiques du procédé' (Procédés de mise en forme primaires checked), and 'Attributs économiques' (Taille de la série: 1000). The 'Tree' stage shows a material tree with 'Materiaux' at the root, branching into 'Ceramiques', 'Hybrides', 'Métaux', and 'Polymères'. 'Polymères' is selected, and 'Thermoplastique' is highlighted in red.

## SAUVEGARDER, COPIER et créer des RAPPORTS ECRITS

### Exercice 11. Sauvegarder les étapes de sélection d'un projet

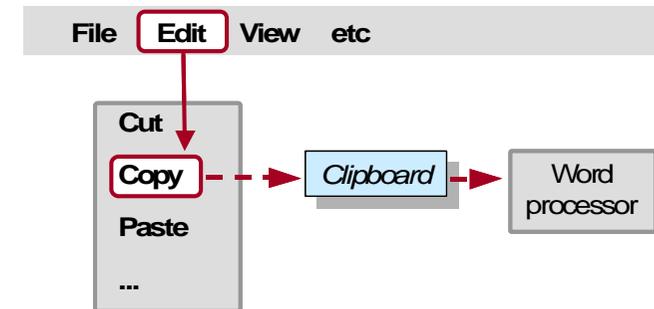
- Sauvegardez le projet – exactement comme Sauvegarder un document sous Word (indiquez un nom de fichier et un dossier de destination, les projets CES ont l'extension “.ces”)



### Exercice 12. Copier les résultats de CES dans un document

Les graphiques, les fiches et les listes de résultats peuvent être copiés (CTRL-C) et collés (CTRL-V) dans Word

- Affichez un graphique, cliquer dessus, ensuite copier et collez dans un document Word
- Double cliquez sur un matériau sélectionné dans une fenêtre “Results” pour afficher sa fiche, puis cliquez sur cette fiche pour la copier et la coller
- Cliquez sur la fenêtre de résultats pour la copier et la coller
- Essayez d’éditer ce document



*(Les fiches de l'exercice 3 et les graphes de sélection des exercices 4 et 6 ont été conçus de cette manière)*

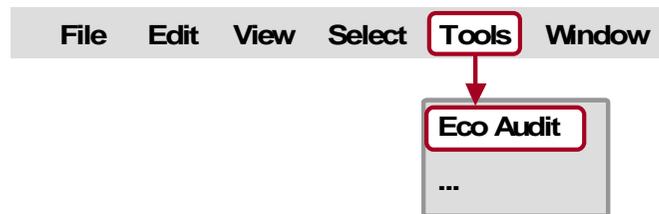
*(Attention : Word 2000 présente un bug : les images incluses dans les textes ne sont pas copiées. Le problème peut être contourné en copiant et en collant séparément l'image dans un document Word comme un “DEVICE INDEPENDENT BITMAP”).*

## ÉCO AUDIT

L'outil Éco Audit calcule l'énergie utilisée et le bilan carbone produit au cours des 5 phases du cycle de vie du produit (matériaux, industrialisation, transport, utilisation et fin de vie) et identifie les phases dominantes. Il s'agit du point de départ pour la conception de produit environnementaux. Il permet d'identifier quels paramètres doivent être ciblés pour réduire les émissions du produit.

### Exercice 13. Exercice d'Éco Audit

Une bouteille d'eau d'1 litre est faite à partir de PET avec un bouchon en polypropylène. La bouteille pèse 40 grammes et le bouchon pèse 1 gramme. Les bouteilles et les bouchons sont moulés, remplis et transportés pour une distance de 550km de France en Angleterre par camion de 14 tonnes. Les bouteilles sont ensuite réfrigérées pendant 2 jours. La durée de vie moyenne d'une bouteille est d'un an.



### Définition du produit



### 1. Matériaux, industrialisation, et Fin de vie.

Nomenclature des Matériaux, Techniques de traitement primaire et Fin de vie

Quantity	Component name	Material	Recycle content	Primary process	Mass (kg)	End of life
100	Bouteille	PET	0%	Moulage	0.04	Recycle
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Univers de Matériaux                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Céramiques et verres</li> <li>Hybrides: composites etc</li> <li>Métaux et alliages</li> <li>Polymères and elastomères                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Elastomères</li> <li>Polymères   <ul style="list-style-type: none"> <li>Thermoplastiques   <ul style="list-style-type: none"> <li>PET</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	0% 100%	Moulage Extrusion		Landfill Combust Downcycle Recycle Re-engineer Reuse
100	Bouchon	PP	0%	Moulage	0.001	Combust
100	L'eau				1	

### 2. Transport

Transport du lieu de transformation au point de vente

Stage name	Transport type	Distance (km)
Lieu de transformation au point de vente	14 tonne truck	550
	Sea freight Rail freight 14 tonne truck Air freight – long haul ...	

### 3. Utilisation

La vie du produit et mode d'utilisation

Product life:  years

Country electricity mix: United Kingdom ▼

France

Germany

United Kingdom

...

### Mode Statique

Energie utilisée pour réfrigérer le produit dans le point de vente (énergie moyenne requise pour réfrigérer 100 bouteilles à 4°C = 0.12 kW)

Product uses the following energy:

Energy input and output: Electric to mechanical (electric motors) ▼

Power rating:  kW ▼

Usage:  days per year

Usage:  hours per day

Fossil fuel to thermal, enclosed system

Fossil fuel to electric

Electric to thermal

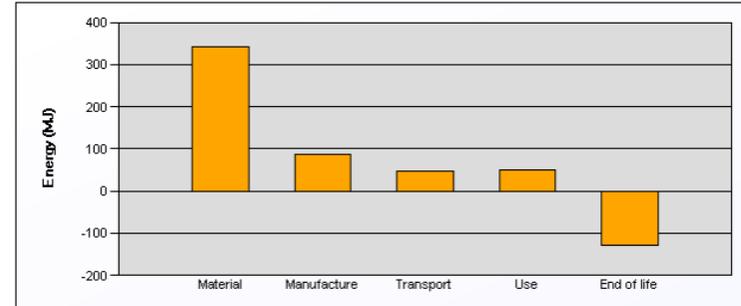
Electric to mechanical (electric motors)

...

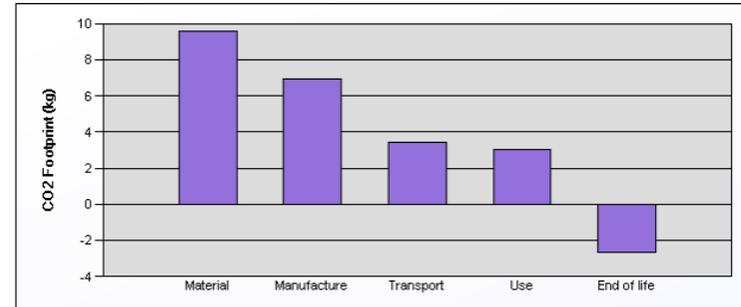
### 4. Rapport

[View Report](#)

Bilan de l'énergie utilisée et du Bilan Carbone produit.



[Energy Details...](#)



[CO2 Details...](#)

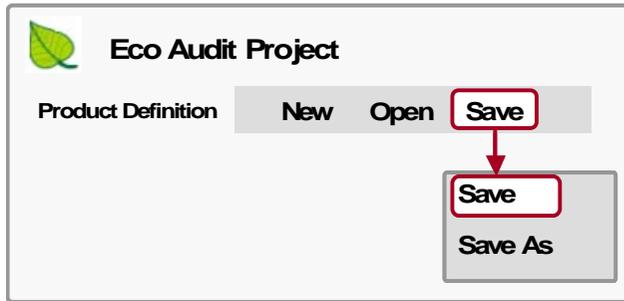
Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	344	85.7	9.6	47.1
Manufacture	86.8	21.6	6.94	34.1
Transport	48.7	12.1	3.46	17.0
Use	50.8	12.7	3.05	15.0
End of life	-129	-32.1	-2.68	-13.2
Total	401	100	20.4	100

(Résultat: La phase matériaux est la phase dominante ⇒ Objectif: minimiser l'énergie utilisée dans la conception de la bouteille)

Changer la "Fin de vie" de la bouteille d'eau pour l'option " brûler " et vérifier les différents impacts sur l'énergie et le bilan carbone en fin de cycle de vie

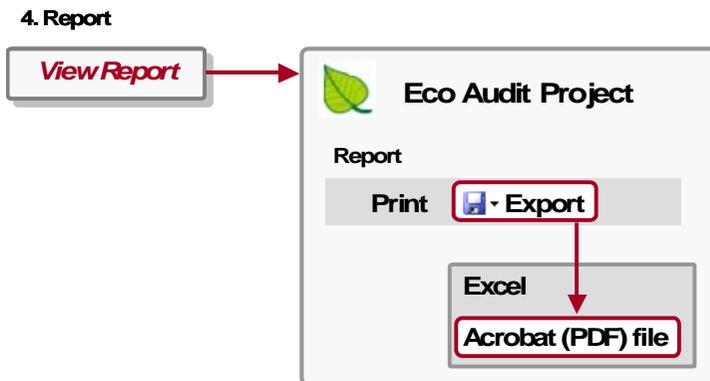
## Exercice 14. Enregistrer un projet d'Éco Audit

Les projets d'Éco Audit ne font pas partie des projets de sélection et doivent être enregistrés séparément



- SAUVER le projet du produit – (Nommez le et localisez le; les fichiers CES Éco Audit ont l'extension “.prd”)

## Exercice 15. Enregistrer/Exporter un Rapport



- PRODUISEZ le rapport Éco Audit
- EXPORTEZ le rapport Éco Audit vers un fichier PDF

(Note: Vous aurez besoin de Microsoft Excel ou un lecteur de PDF tel que Adobe Reader pour voir le rapport exporté)

# Annexes

### Barres d'outils dans CES EduPack

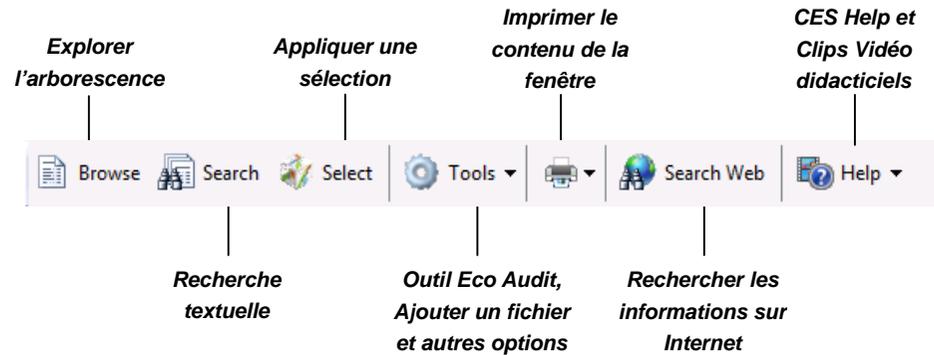


Figure A1. La barre d'outils standard dans CES EduPack

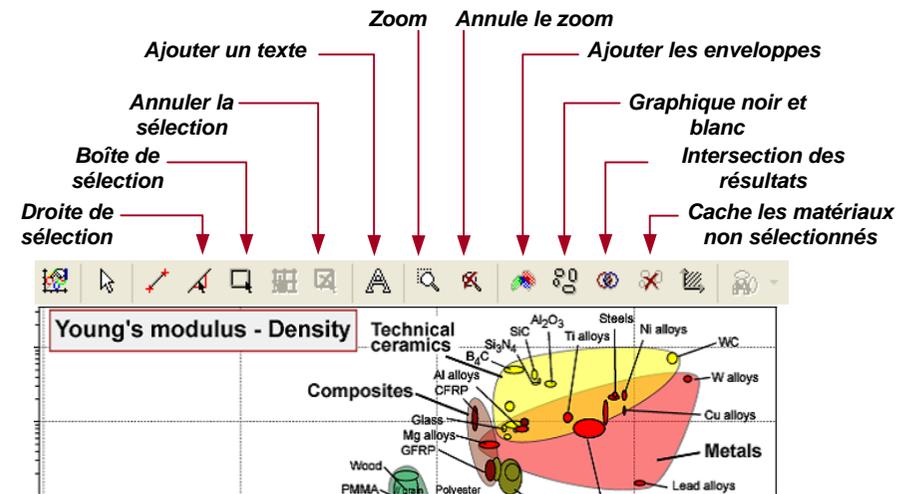


Figure A2. La barre d'outils des "Graph Stage" dans CES EduPack

### Constantes physiques et conversion d'unités

Température zéro absolu	-273.2°C
Accélération de pesanteur, g	9.807m/s <sup>2</sup>
Nombre d'Avogadro, N <sub>A</sub>	6.022 x 10 <sup>23</sup>
Base des logarithmes Népériens, e	2.718
Constante de Boltzmann, k	1.381 x 10 <sup>-23</sup> J/K
Constante de Faraday, k	9.648 x 10 <sup>4</sup> C/mol
Constante des gaz parfaits, $\bar{R}$	8.314 J/mol/K
Constante de Planck, h	6.626 x 10 <sup>-34</sup> J/s
Célérité de la lumière dans le vide, c	2.998 x 10 <sup>8</sup> m/s
Volume molaire des gaz parfaits à PTS	22.41 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /mol

Angle, $\theta$	1 rad	57.30°
Masse volumique, $\rho$	1 lb/ft <sup>3</sup>	16.03 kg/m <sup>3</sup>
Coefficient de diffusion, D	1cm <sup>2</sup> /s	1.0 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
Energie, U	Voir tableau	
Force, F	1 kgf	9.807 N
	1 lbf	4.448 N
	1 dyne	1.0 x 10 <sup>-5</sup> N
Longueur, $\ell$	1 ft	304.8 mm
	1 inch	25.40 mm
	1 Å	0.1 nm
Masse, M	1 tonne	1000 kg
	1 short ton	908 kg
	1 long ton	1107 kg
	1 lb mass	0.454 kg
Puissance, P	Voir tableau	
Contrainte, $\sigma$	Voir tableau	
Chaleur spécifique, Cp	1 cal/gal.°C	4.188 kJ/kg.°C
	Btu/lb.°F	4.187 kg/kg.°C
Intensité de contrainte critique, K <sub>1c</sub>	1 ksi $\sqrt{\text{in}}$	1.10 MN/m <sup>3/2</sup>
Energie surfacique $\gamma$	1 erg/cm <sup>2</sup>	1 mJ/m <sup>2</sup>
Température, T	1°F	0.556°K
Conductivité thermique $\lambda$	1 cal/s.cm.°C	418.8 W/m.°C
	1 Btu/h.ft.°F	1.731 W/m.°C
Volume, V	1 Imperial gall	4.546 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
	1 US gall	3.785 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Viscosité, $\eta$	1 poise	0.1 N.s/m <sup>2</sup>
	1 lb ft.s	0.1517 N.s/m <sup>2</sup>

### Conversion d'unités– contraintes et pressions\*

	MPa	dyn/cm <sup>2</sup>	Lb.in <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	bar	long ton/in <sup>2</sup>
MPa	1	10 <sup>7</sup>	1.45 x 10 <sup>2</sup>	0.102	10	6.48 x 10 <sup>-2</sup>
dyn/cm <sup>2</sup>	10 <sup>-7</sup>	1	1.45 x 10 <sup>-5</sup>	1.02 x 10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-6</sup>	6.48 x 10 <sup>-9</sup>
lb/in <sup>2</sup>	6.89 x 10 <sup>-3</sup>	6.89 x 10 <sup>4</sup>	1	703 x 10 <sup>-4</sup>	6.89 x 10 <sup>-2</sup>	4.46 x 10 <sup>-4</sup>
kgf/mm <sup>2</sup>	9.81	9.81 x 10 <sup>7</sup>	1.42 x 10 <sup>3</sup>	1	98.1	63.5 x 10 <sup>-2</sup>
bar	0.10	10 <sup>6</sup>	14.48	1.02 x 10 <sup>-2</sup>	1	6.48 x 10 <sup>-3</sup>
long ton/ in <sup>2</sup>	15.44	1.54 x 10 <sup>8</sup>	2.24 x 10 <sup>3</sup>	1.54	1.54 x 10 <sup>2</sup>	1

### Conversion d'unités – énergie\*

	J	erg	cal	eV	Btu	ft lbf
J	1	10 <sup>7</sup>	0.239	6.24 x 10 <sup>18</sup>	9.48 x 10 <sup>-4</sup>	0.738
erg	10 <sup>-7</sup>	1	2.39 x 10 <sup>-8</sup>	6.24 x 10 <sup>11</sup>	9.48 x 10 <sup>-11</sup>	7.38 x 10 <sup>-8</sup>
cal	4.19	4.19 x 10 <sup>7</sup>	1	2.61 x 10 <sup>19</sup>	3.97 x 10 <sup>-3</sup>	3.09
eV	1.60 x 10 <sup>-19</sup>	1.60 x 10 <sup>-12</sup>	3.38 x 10 <sup>-20</sup>	1	1.52 x 10 <sup>-22</sup>	1.18 x 10 <sup>-19</sup>
Btu	1.06 x 10 <sup>3</sup>	1.06 x 10 <sup>10</sup>	2.52 x 10 <sup>2</sup>	6.59 x 10 <sup>21</sup>	1	7.78 x 10 <sup>2</sup>
ft lbf	1.36	1.36 x 10 <sup>7</sup>	0.324	8.46 x 10 <sup>18</sup>	1.29 x 10 <sup>-3</sup>	1

### Conversion d'unités – puissance\*

	kW (kJ/s)	erg/s	hp	ft lbf/s
kW (kJ/s)	1	10 <sup>10</sup>	1.34	7.38 x 10 <sup>2</sup>
erg/s	10 <sup>-10</sup>	1	1.34 x 10 <sup>-10</sup>	7.38 x 10 <sup>-8</sup>
hp	7.46 x 10 <sup>-1</sup>	7.46 x 10 <sup>9</sup>	1	15.50 x 10 <sup>2</sup>
Ft lbf/s	1.36 x 10 <sup>-3</sup>	1.36 x 10 <sup>7</sup>	1.82 x 10 <sup>-3</sup>	1

\* Pour convertir les unités des rangées avec celles des colonnes, multipliez par le nombre à l'intersection des lignes, donc 1MPa = 1 bar

## Author

Professor Mike Ashby and Granta Design  
University of Cambridge, Granta Design Ltd.  
[www.grantadesign.com](http://www.grantadesign.com)  
[www.eng.cam.ac.uk](http://www.eng.cam.ac.uk)

## Reproduction

This is part of Granta's Open Access Teaching Resources. You can reproduce these resources in order to use them with students. Please make sure that Mike Ashby and Granta Design are credited on any reproductions. You cannot use these resources for any commercial purposes.

## Accuracy

We try hard to make sure these resources are of a high quality. If you have any suggestions for improvements, please contact us by email at [teachingresources@grantadesign.com](mailto:teachingresources@grantadesign.com).

## Open Access Resources include:

- Interactive Case Studies
- Getting Started Guides
- Materials Property Charts
- Engineering Data Booklets

You can register for a user name and password for these resources here:

[www.grantadesign.com/education/resources](http://www.grantadesign.com/education/resources)

## Other Resources Available:

- 19 PowerPoint lecture units
- Exercises with worked solutions
- Recorded webinars
- Posters
- White Papers
- Solution Manuals

