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
Niveau 1	69 des matériaux les plus communément utilisés et classés dans les familles suivantes : métaux, polymères, céramiques, composites, mousses et matériaux naturels. 74 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.
Niveau 2	100 des matériaux et 109 des procédés les plus utilisés de par 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.
Niveau 3	Le cœur de la base de données contient plus de 3 750 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 différents grades d'alliages, de polymères, etc sont différenciés de manière à avoir une approche experte du choix de matériaux. 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 : Univers des Matériaux et Univers des Procédés.

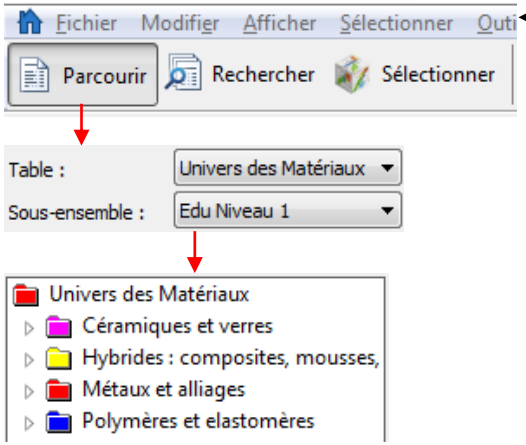
Chaque niveau contient ces trois fonctions principales :

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

Les possibilités de la ressource CES EduPack sont beaucoup plus larges, ce guide ne regroupe que les fonctions principales. Des indications sur comment employer les outils avancés sont disponibles sur le site internet des ressources pédagogiques : http://teachingresources.grantadesign.com/index

PARCOURIR ET RECHERCHER

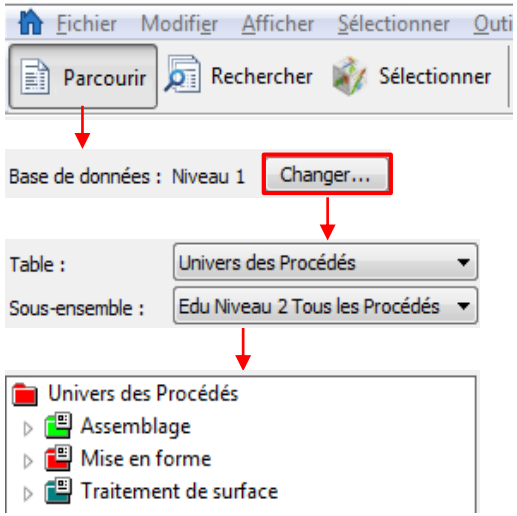
Lors du démarrage de CES EduPack, sélectionner le NIVEAU 1 de la base de données. La table UNIVERS DES MATÉRIAUX s'ouvrira par défaut.



Exercice 1. Parcourir la base de données matériaux

- Trouvez la fiche de l'ACIER INOXYDABLE
- Trouvez la fiche du BÉTON
- Trouver la fiche du POLYPROPYLÈNE
- Trouvez les procédés permettant la mise en forme du POLYPROPYLÈNE, en utilisant le lien en bas de page (LINK)

Exercice 2. Parcourir la base de données procédés



Changez de base de données pour le NIVEAU 2

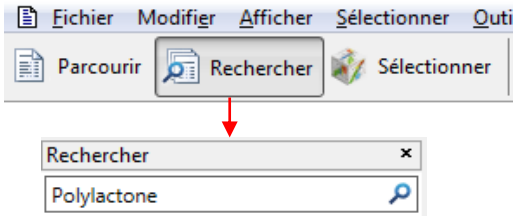
(Dans le panneau Parcourir, cliquez sur « changer » puis sur l'écran de sélection des Bases de Données cliquez sur « Niveau 2 »)

Dans la section "Table" sélectionnez "Univers des Procédés" puis dans «Sous-ensemble » Niveau 2 Tous les Procédés

- Trouvez la fiche de MOULAGE PAR INJECTION
- Trouvez la fiche de POLISSAGE CHIMIQUE
- Trouvez la fiche de SOUDAGE PAR FRICTION (MÉTAUX)

- Trouvez tous les matériaux utilisables avec MOULAGE SOUS PRESSION en utilisant le lien en bas de page

Exercice 3. La recherche textuelle



- Trouvez le matériau Polylactone
- Trouvez les matériaux pour Outils de coupe
- Trouvez le procédé RTM
- Trouvez les matériaux pour Automobile NOT (polymère OR céramique)
- Trouvez les matériaux pour Polyprop*

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

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 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

Masse Volumique		890	-	910	kg/m^3
Prix	*	1.37	-	1.50	EUR/kg

Propriétés mécaniques

Module de Young	0.896	-	1.55	GPa
Module de cisaillement	0.316	-	0.548	GPa
Module de compressibilité	2.5	-	2.6	GPa
Coefficient de Poisson	0.405	-	0.427	
Limite élastique	20.7	-	37.2	MPa
Résistance en traction	27.6	-	41.4	MPa
Résistance à la compression	25.1	-	55.2	MPa
Allongement	100	-	600	%
Mesure de dureté Vickers	6.2	-	11.2	HV
Limite de fatigue	11	-	16.6	MPa
Ténacité	3	-	4.5	MPa.m^0.5
Coefficient d'amortissement	0.0258	-	0.0446	

Propriétés thermiques

Température de fusion	150	-	175	°C
Température de transition vitreuse	-25.15	-	-15.15	°C
Température maximale d'utilisation	100	-	115	°C
Température minimale d'utilisation	-123	-	-73.2	°C
Conducteur ou isolant thermique?	Bon isolant			
Conductivité thermique	0.113	-	0.167	W/m.°C
Chaleur spécifique	1.87e3	-	1.96e3	J/kg.°C
Coefficient de dilatation	122	-	180	µstrain/°C

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 œuvre. 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.

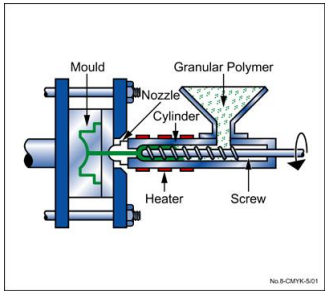
Notes techniques

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.

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 granulés de polymère sont amenés dans une presse en spirale où ils se mélangent et se ramollissent 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 physiques

Gamme de poids	0.001	-	25	kg
Gamme d'épaisseurs de section	0.4	-	6.3	mm
Tolérance	0.07	-	1	mm
Rugosité	0.2	-	1.6	µm
Etat de surface	Très lisse			

Caractéristiques du procédé

Procédés de mise en forme primaires	True
Discontinu	True

Attributs économiques

Coût relatif de l'outillage	Très haut		
Coût relatif de l'équipement	Haut		
Importance de la main d'œuvre	Faible		
Taille de la série (unités)	10000	-	1e6

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

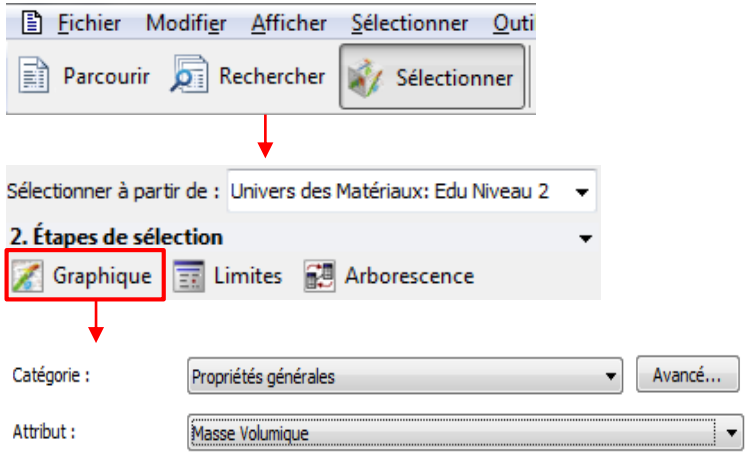
On peut mouler par injection la plupart des thermoplastiques, bien que ceux qui ont une température de fusion élevée (par exemple le PTFE) soient difficiles à injecter. On peut mettre en œuvre par injection les composites basés sur des thermoplastiques (renforcés par des fibres courtes ou des charges 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 certaines caractéristiques (comme les contre-dépouilles, les parties filetées et les 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, représentée schématiquement dans l'illustration. les granulés 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 rétractation de la matière due au refroidissement. Lorsque la matière est suffisamment solidifiée, l'objet est éjecté.

Granta Design and M.F. Ashby © 2015

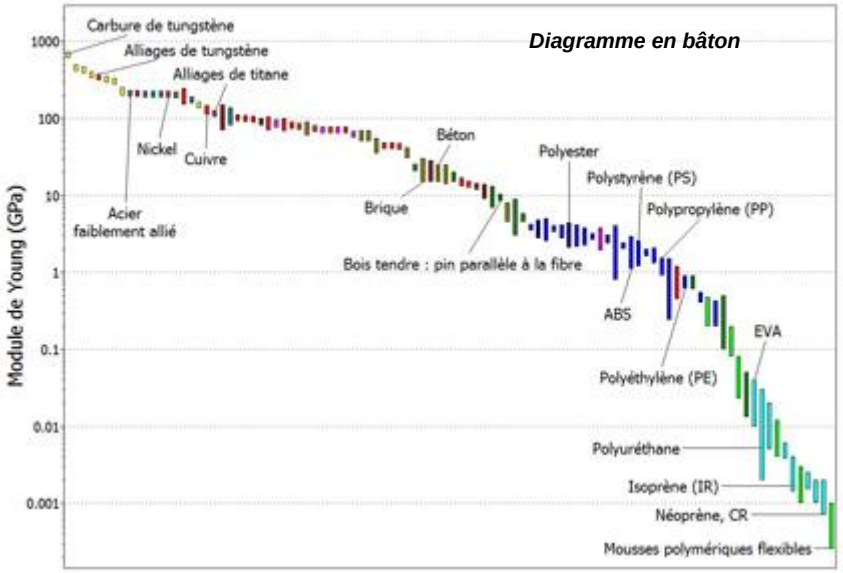
DIAGRAMMES DE PROPRIÉTÉS

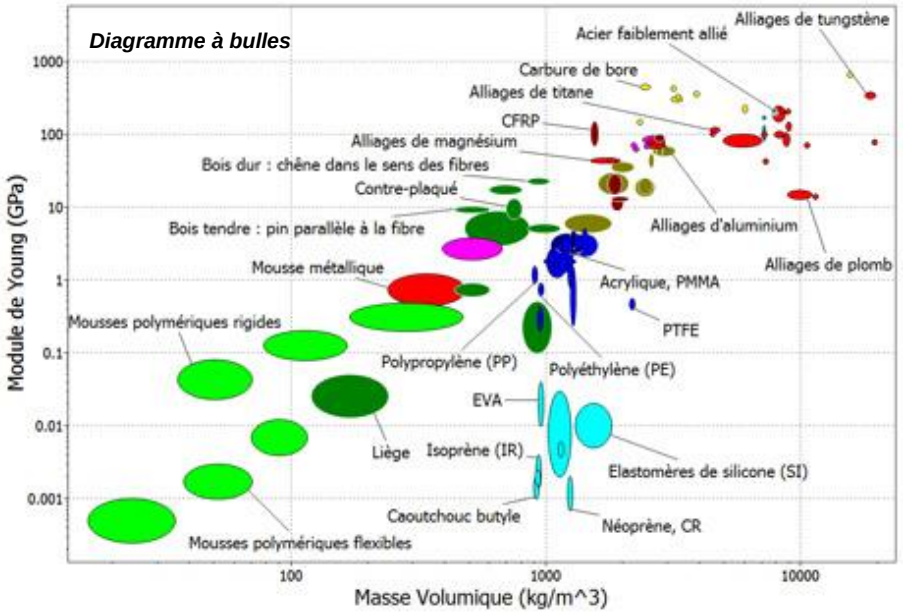
Exercice 4. Construire des diagrammes de propriétés

- 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 <Aucun>)
  (Cliquez sur quelques matériaux pour faire apparaître leurs noms (étiquettes) ;
  double-cliquez sur un matériau pour visualiser sa fiche)
- Faites un diagramme à bulle du Module d'Young (E) et de la Masse volumique (ρ)
  (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
(Faites un clic droit sur l'étape graphique" puis "Supprimer")





SÉLECTION PAR ENCADREMENT

Exercice 5. Sélection avec l'étape par limites

- Trouvez les matériaux répondant aux critères suivants :

  Limite élastique >500 MPa

  Température maximale d'utilisation > 200 °C

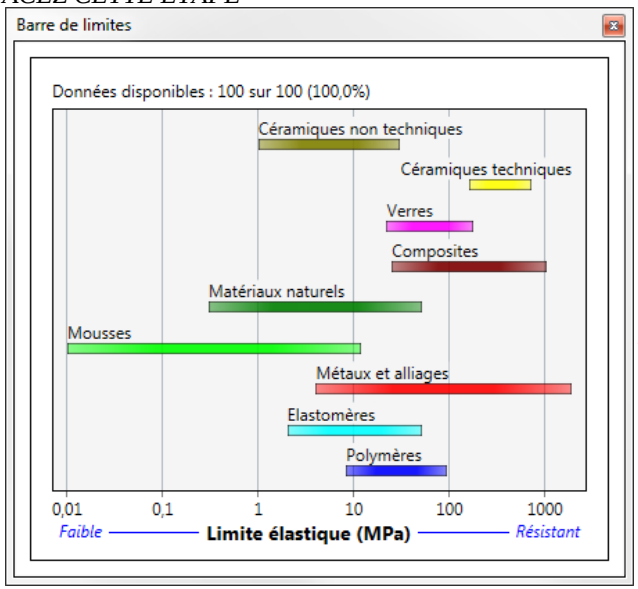
  Conductivité thermique > 25 W/m.°C

  Conducteur ou isolant électrique= bon isolant

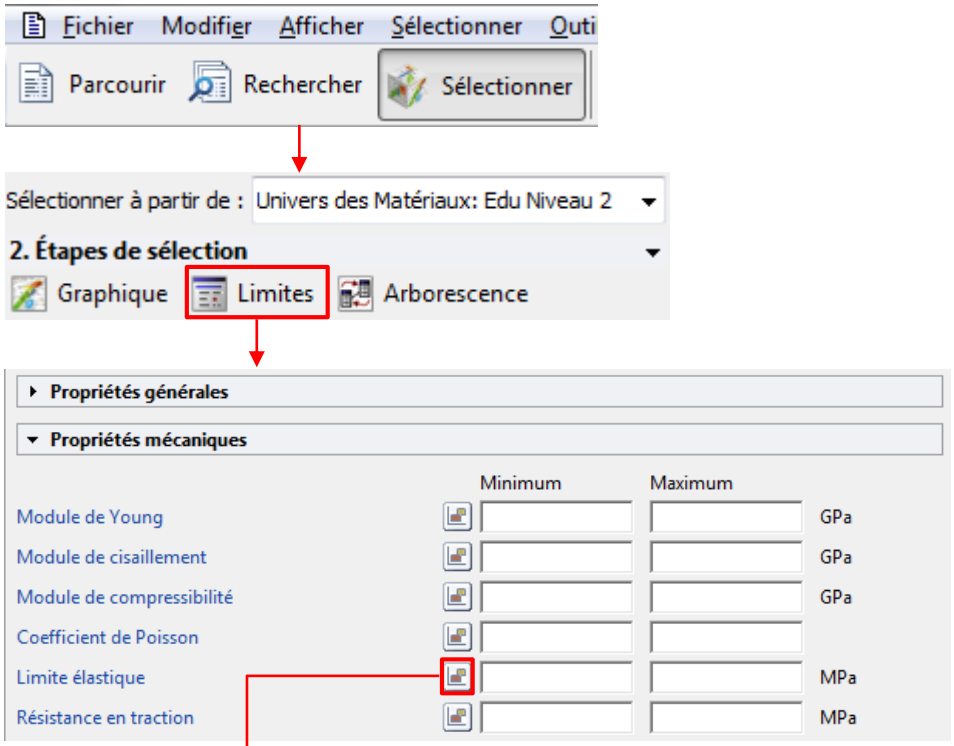
  (Entrez les limites – minimum ou maximum selon les cas – et cliquez sur "Appliquer")

  (Résultats pour les niveaux 2 : Alumine, Nitrure de silicium)

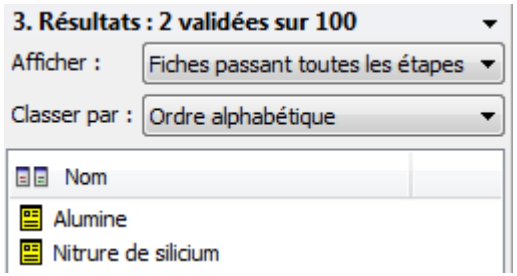
EFFACEZ CETTE ÉTAPE



Outil d'aide à la sélection par limite



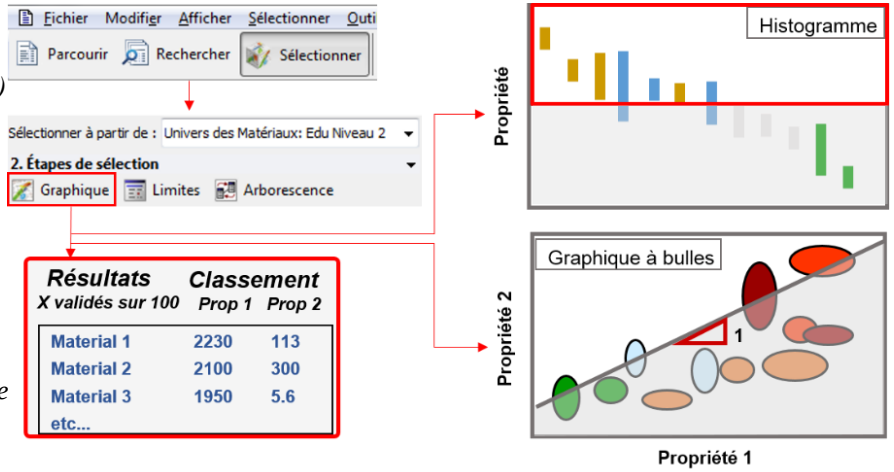
Résultat visible en bas à gauche



SÉLECTION GRAPHIQUE

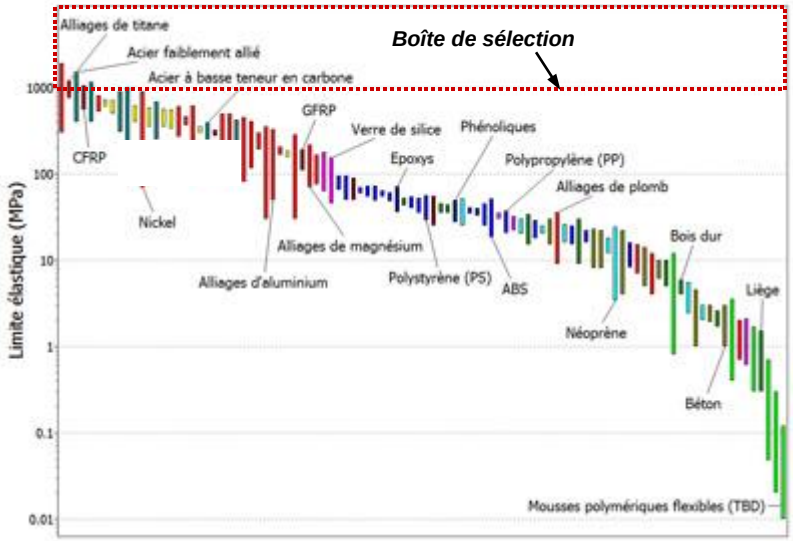
Exercice 6. Sélection avec une étape GRAPHIQUE

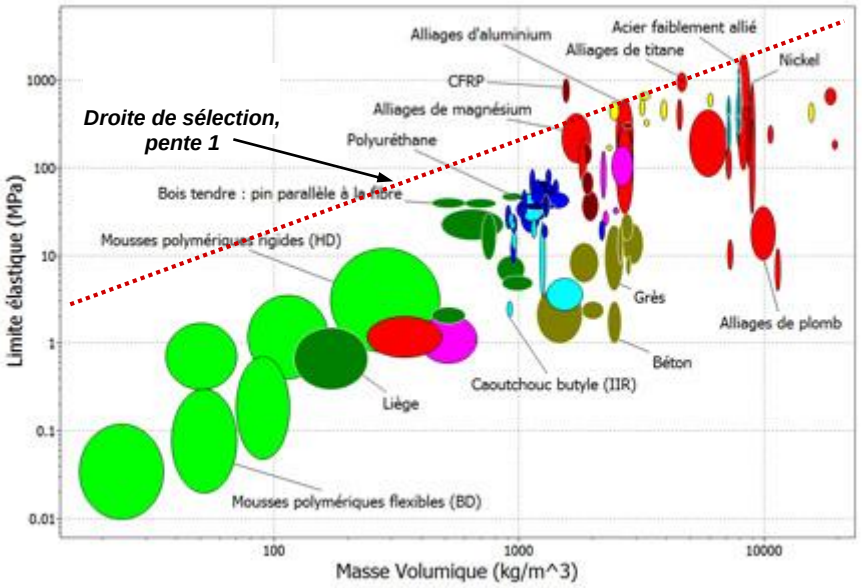
- Faites un graphique en bâton de la limite élastique (σ_y), sur l'axe des y
- Utilisez la boîte de sélection pour déterminer les matériaux à limite élastique élevée
  (Cliquez sur l'icône rectangulaire, puis "cliquer-glisser" pour tracer le rectangle de sélection)
- Ajoutez, sur l'autre axe, la masse volumique (ρ)
  (Pour cela : sélectionnez Etape 1 dans la zone "Etapes de sélection", 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 (σ_y / ρ)
  *(Cliquez sur l'icône "droite", ensuite entrez la valeur de la 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 σ_y / ρ. Ensuite, faites glisser la ligne pour affiner la sélection à seulement 3 matériaux.)*



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

EFFACEZ LE GRAPHIQUE





SÉLECTION PAR ARBORESCENCE

Exercice 7. Sélection avec l'étape d'arborescence

- Trouvez les matériaux pouvant être moulés

  (Dans la sélection par arborescence, sélectionnez Univers des Procédés, ouvrez "Mise en forme", sélectionnez "Moulage", cliquez "Insérer", puis sur OK)

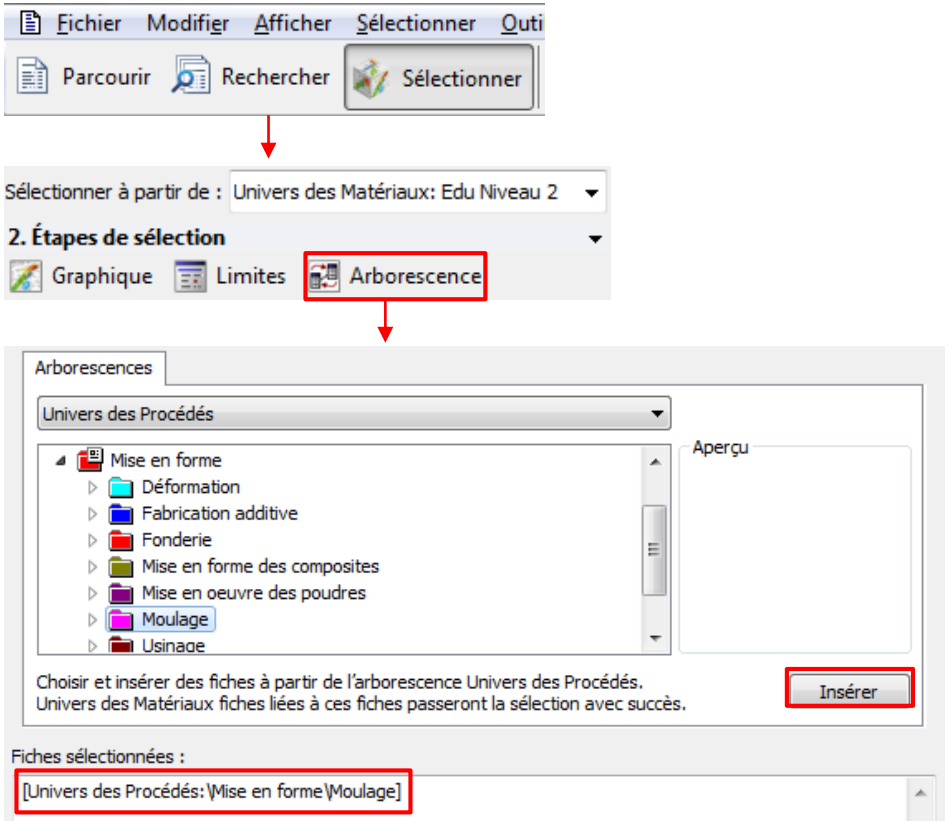
EFFACEZ L'ETAPE DE SELECTION

- Trouver les procédés permettant d'assembler des Aciers

  (Commencez par changer la table dans laquelle est faite la recherche dans le menu "Sélectionner à partir de " pour choisir Edu Niveau 2 Procédés d'assemblage)

  (*Ensuite, dans la fenêtre "arborescence", sélectionnez Univers des Matériaux, Métaux et alliages, sélectionnez les "alliages ferreux", et cliquez sur Insérer, puis sur OK)*

EFFACEZ L'ETAPE DE SELECTION



JOINDRE LES ÉTAPES ENSEMBLE

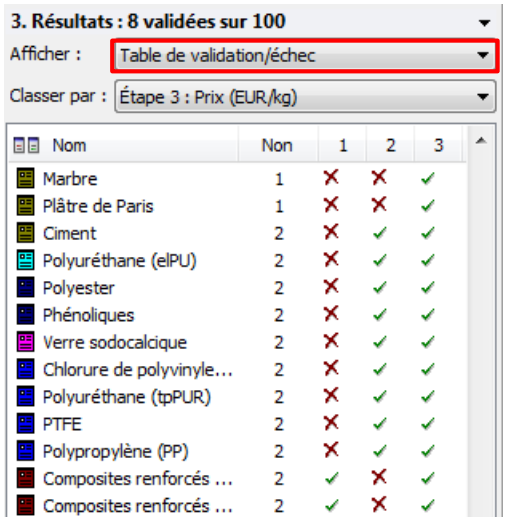
Exercice 8. Utiliser les 3 étapes ensemble

Sélectionnez l'Univers des Matériaux : Edu Niveau 2

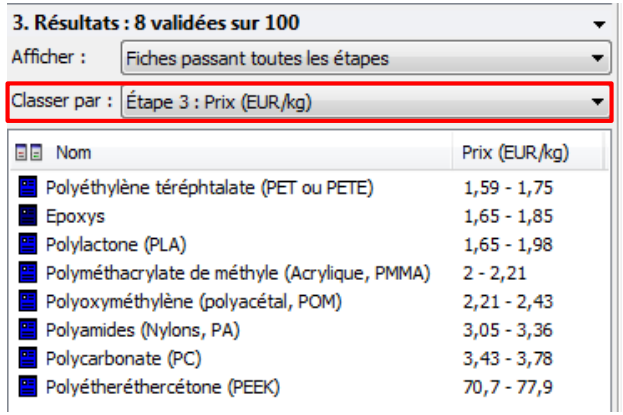
Trouvez les matériaux répondant aux critères suivants :

- Masse volumique < 2000 kg/m^3
- Limite élastique > 60 MPa
- Conductivité thermique < 10 W/m.°C
  (3 sélections dans l'étape de sélection par limites)

- Aptitude à être moulé
  (Arborescence: Univers des Procédés – Mise en forme – Moulage)
- Classez les résultats par Prix
  (Graph Stage : diagramme en bâton des prix)
  (Sur le dernier graphique, les matériaux ne répondant pas à au moins un critère sont grisés ; cliquez sur l'icône "Masquer les fiches non validées"; faites apparaître les noms des matériaux restants, qui répondent à tous les critères. La fenêtre "Résultats" liste tous les matériaux compatibles avec l'ensemble de ces critères, il est possible d'afficher un classement par ordre croissant)



(Résultats par prix croissants : PET, Epoxys, PLA, PMMA, …)



Exercice 9. Trouver des informations supplémentaires

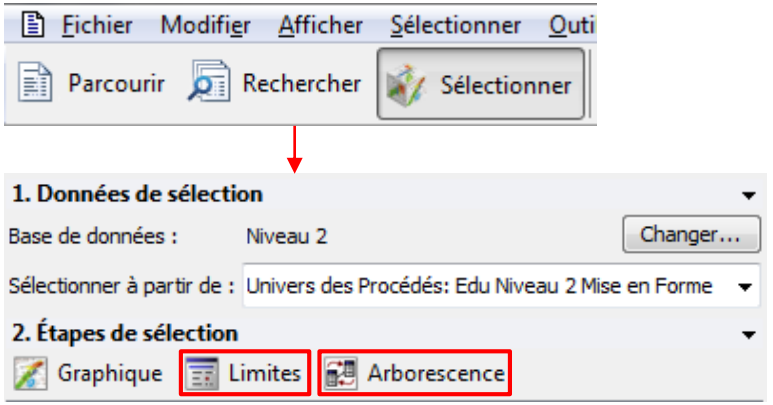
(Nécessite une connexion Internet)

- Ouvrez la fiche du Polyéthylène téréphtalate puis cliquez sur le bouton Rechercher sur internet
  (CES EduPack traduit les identifiants de matériaux en chaînes de caractères compatibles avec des sources d'information de qualité de matériaux et de procédés et transmets 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

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 une étape par limites)

- Fait en Thermoplastique
  (Arborescence: Univers des Matériaux – Polymères et élastomères – Polymères – Thermoplastiques)

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

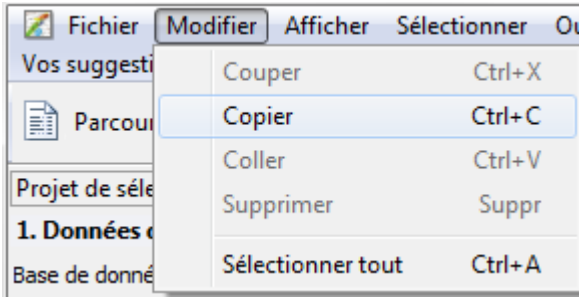
SAUVEGARDER, COPIER et créer des RAPPORTS ECRITS

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 EduPack 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, faites un clic droit dessus, ensuite copier et collez dans un document Word
- Double cliquez sur un matériau sélectionné dans une fenêtre "Résultats" 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)

ÉCO AUDIT

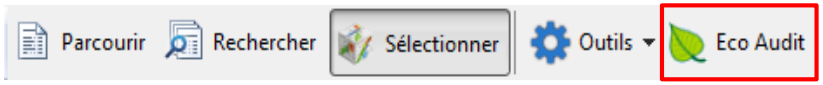
L'outil Éco Audit calcule la quantité d'énergie utilisée et le CO2 rejeté au cours des 5 phases du cycle de vie d'un produit (matériaux, industrialisation, transport, utilisation et fin de vie) afin d'identifier les phases dominantes. C'est le point de départ de l'Éco-Conception car il permet d'identifier les paramètres à cibler pour réduire l'empreinte environnementale du produit dès la phase de conception lorsque les possibilités de décisions sont nombreuses.

Des exemples d'Éco-Audit sont disponibles (au format .prd) dans le dossier « Samples » du dossier CES Edupack.

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.

Avec la base de données NIVEAU 2 ouverte, cliquez sur Eco Audit dans la barre de menu.

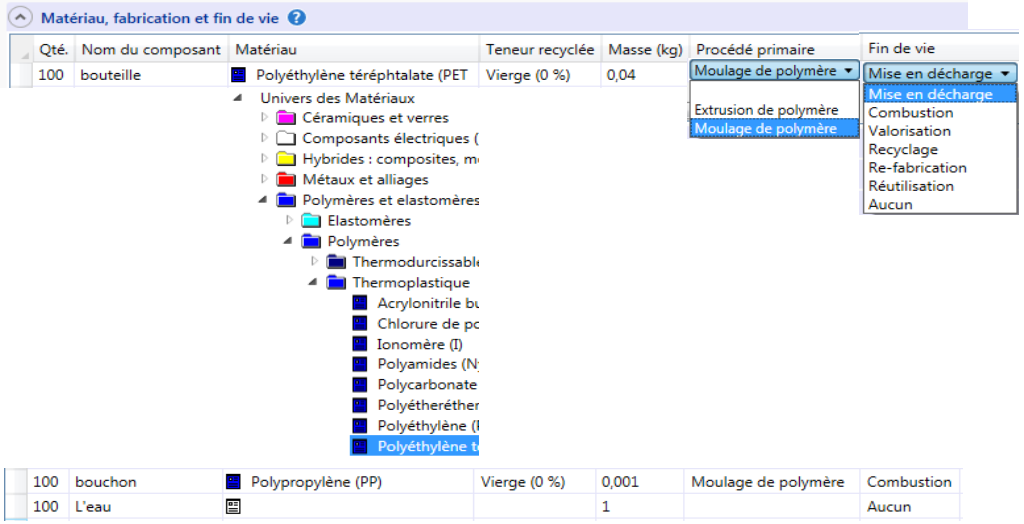


Définition du produit

(Vous pouvez obtenir des explications sur les calculs utilisés pour chaque étape en cliquant sur l'icône d'aide ? située en face des titres)

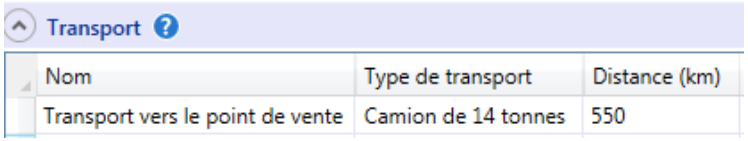
1. Matériaux, industrialisation, et Fin de vie.

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



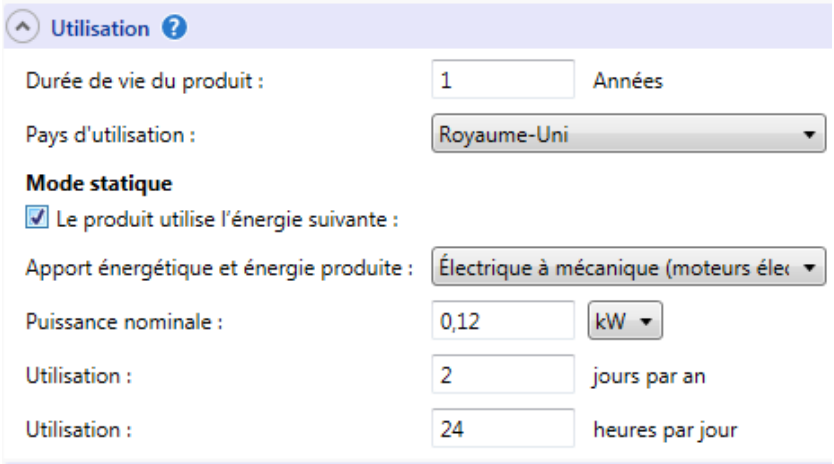
2. Transport

Transport du lieu de transformation au point de vente



3. Utilisation

Vie du produit et mode d'utilisation



Mode Statique

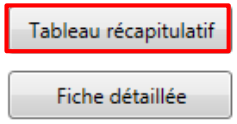
Energie utilisée pour réfrigérer le produit dans le point de vente (énergie moyenne requise pour réfrigérer 100 bouteilles à 4°C = 0.12 kW)

-5+

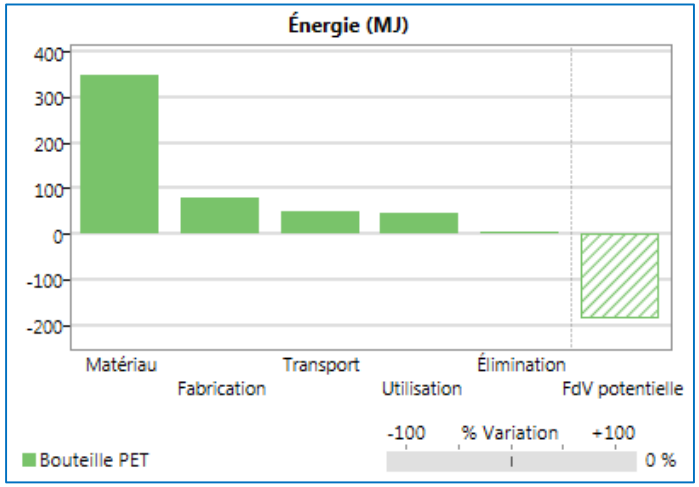
.

++

4. Rapport

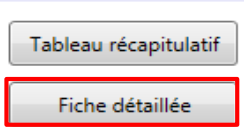


Permet d'identifier rapidement la phase de vie dominante. Visualisation de la consommation d'énergie ou de l'empreinte carbone.



(Résultat: La phase matériaux est la phase dominante)

- Cliquez sur la colonne de la phase de vie Matériaux sur le graphique pour obtenir des conseils sur les stratégies à mettre en œuvre pour réduire cet impact.

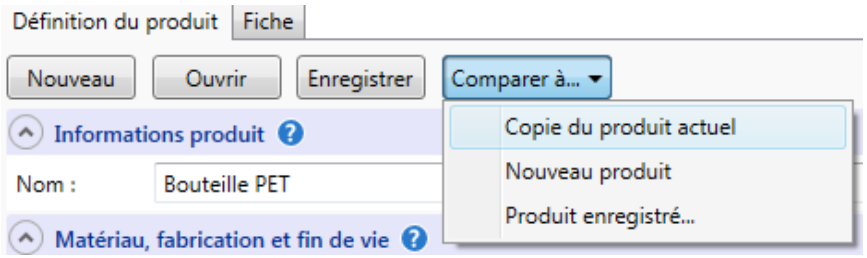


Fournit la répartition détaillée de l'impact des composants pour chaque phase de vie, permettant ainsi d'identifier les contributeurs principaux de la phase dominante.

Exercice 14. COMPARER des Eco-Audits

- Comparer des Éco-Audits pour explorer des scénarios alternatifs

(Dans l'onglet "Définition du Produit", cliquez sur "Comparer à" puis sélectionnez "Copie du produit actuel ")



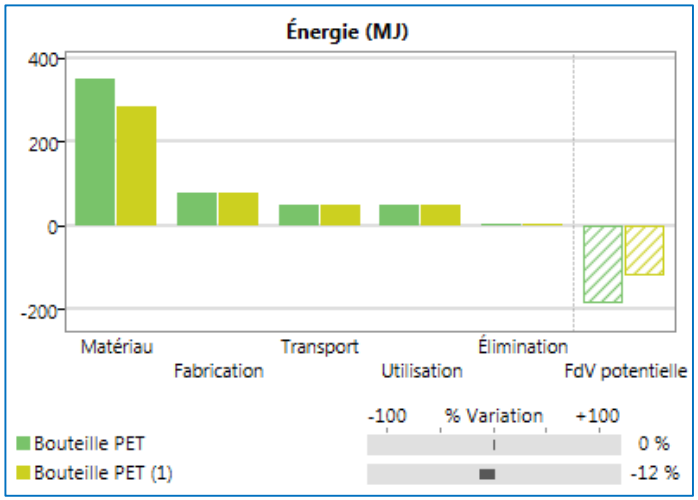
- Dans la copie, modifiez le nom du produit comme suit: 'Bouteille PET (recyclé)'

Pour le matériau PET

- Modifiez le pourcentage dans la colonne RECYCLED CONTENT: 35%

Remarquez que l'énergie consommée (sans prendre en compte le potentiel de récupération en fin de vie) est réduite de 12%

- Cliquez sur le bouton COPIER pour copier le graphique puis le coller dans un document

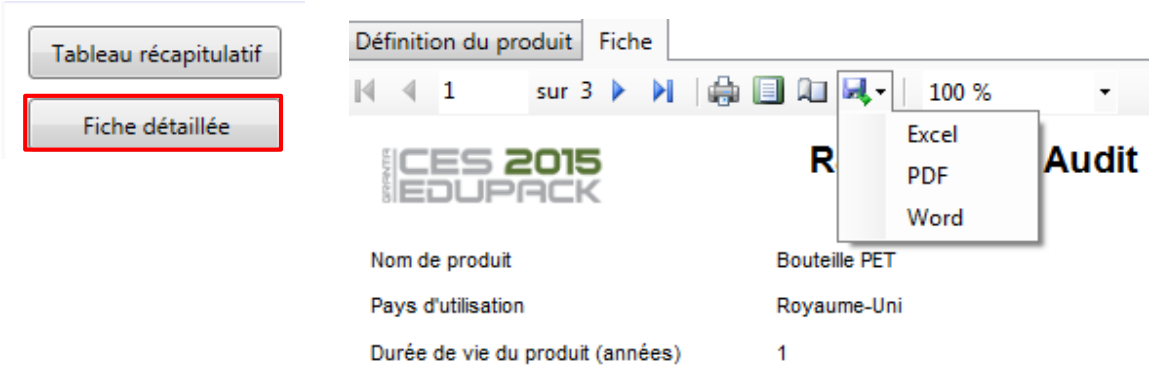


Exercice 15. Enregistrer un projet d'Éco Audit

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 Éco Audit ont l'extension ".prd")

Exercice 16. Enregistrer/Exporter une Fiche détaillée



- 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 qu'Adobe Reader pour voir le rapport exporté)

Annexes

Barres d'outils dans CES EduPack

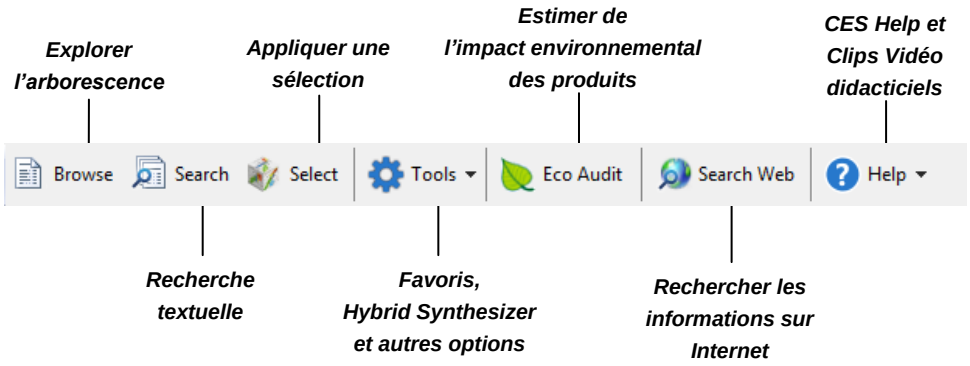


Figure A1. La barre d'outils standard dans CES EduPack

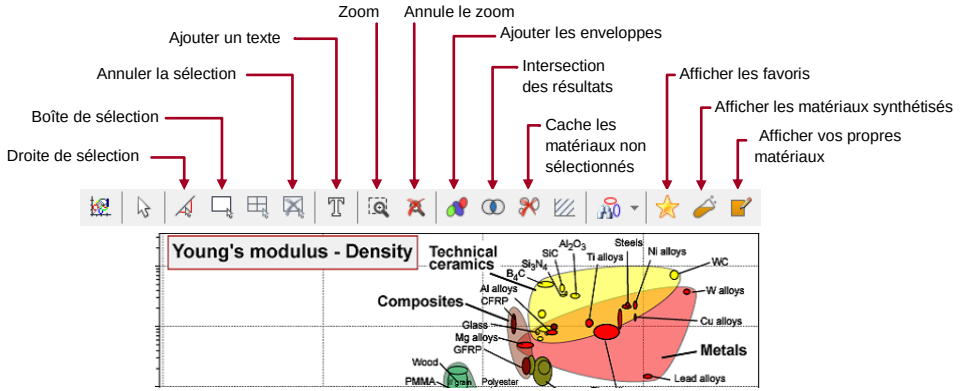


Figure A2. La barre d'outils des "étapes graphiques" dans CES EduPack

Constantes physiques et conversion d'unités

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

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

Conversion d'unités– contraintes et pressions*

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

Conversion d'unités – énergie*

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

Conversion d'unités – puissance*

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

* Pour convertir les unités des rangées avec celles des colonnes, multipliez par le nombre à l'intersection des lignes, donc 1MPa = 10 bar