

EES

Engineering Equation Solver

Notions de base

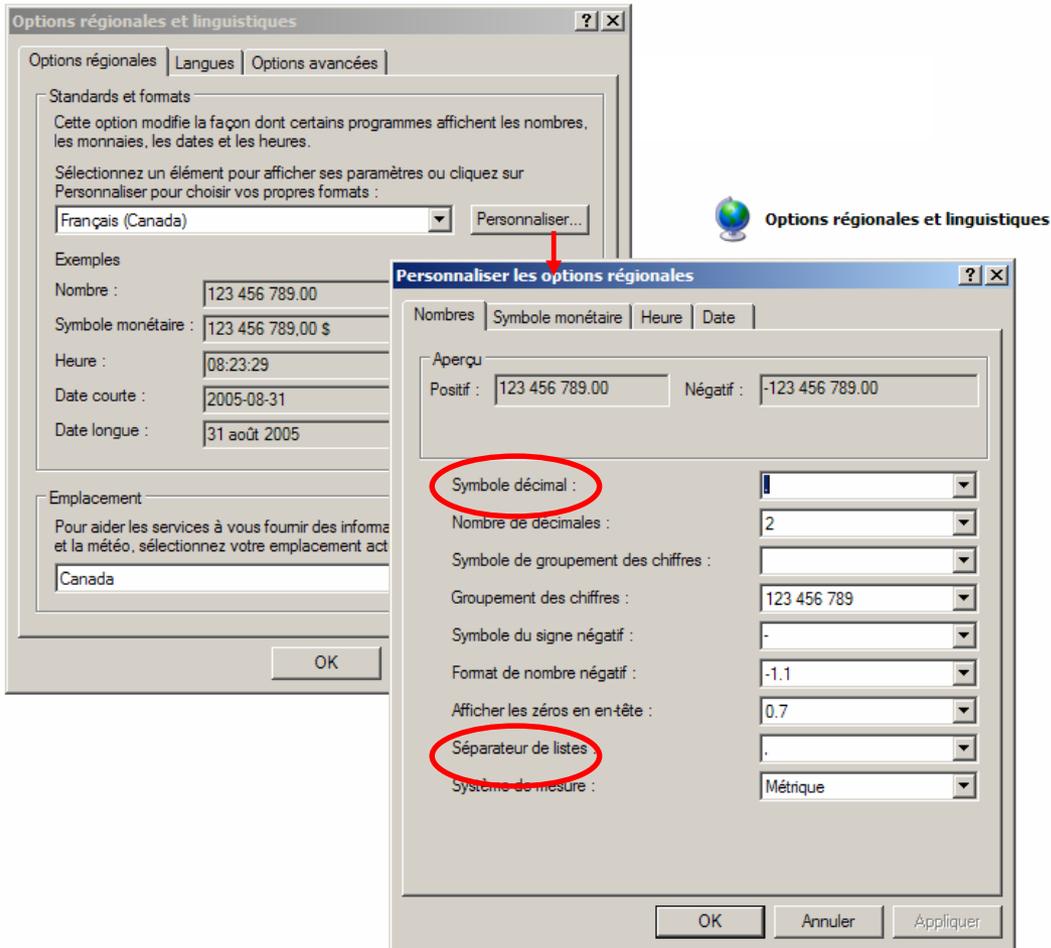


Introduction

- Le logiciel EES* (**Engineering Equation Solver**) a été développé par le professeur Sandy Klein de l'Université du Wisconsin à Madison
- Ce logiciel a pour but de permettre aux étudiants de se concentrer sur la **mise en équation du problème** et non sur la recherche des propriétés dans des tables ou sur la méthode de solution

* Prononcé « ease »

Mise en garde

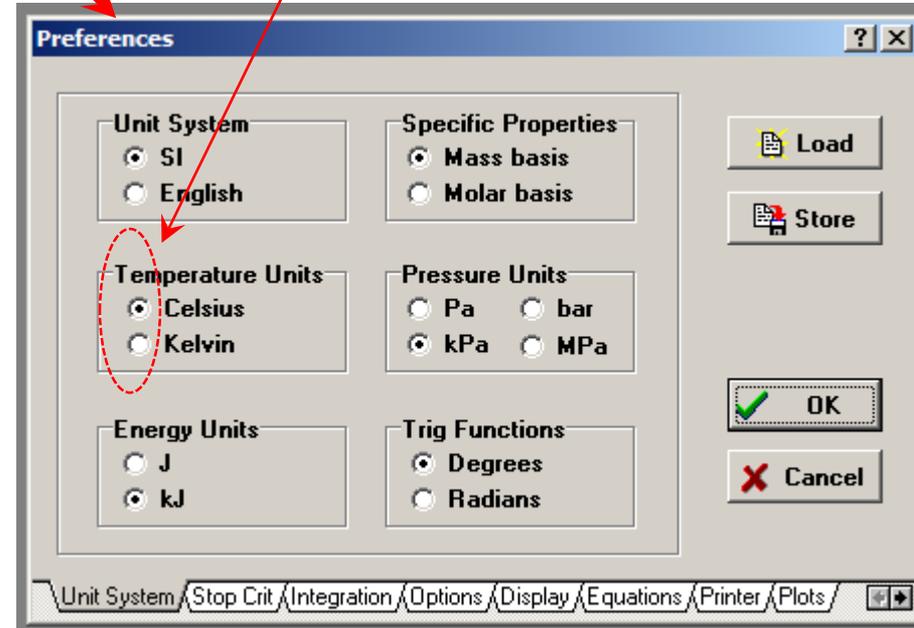
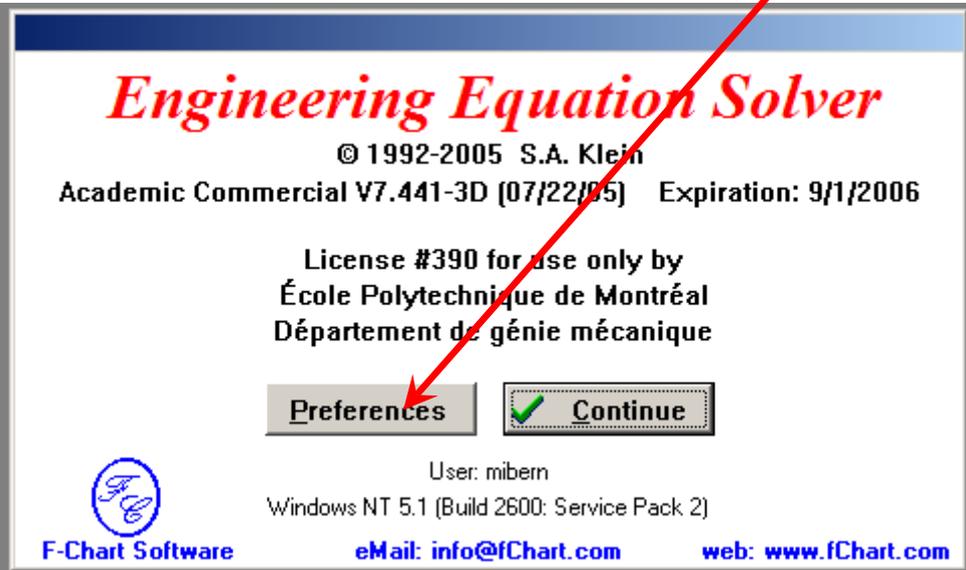


Bien que EES puisse fonctionner avec la virgule (,) comme séparateur décimal et le point virgule (;) comme séparateur de listes, il est recommandé d'utiliser le point (.) comme séparateur décimal et la virgule (,) comme séparateur de listes.

C'est opération s'effectue à l'aide du panneau de configuration de Windows tel qu'indiqué sur la figure ci-contre.

Démarrage

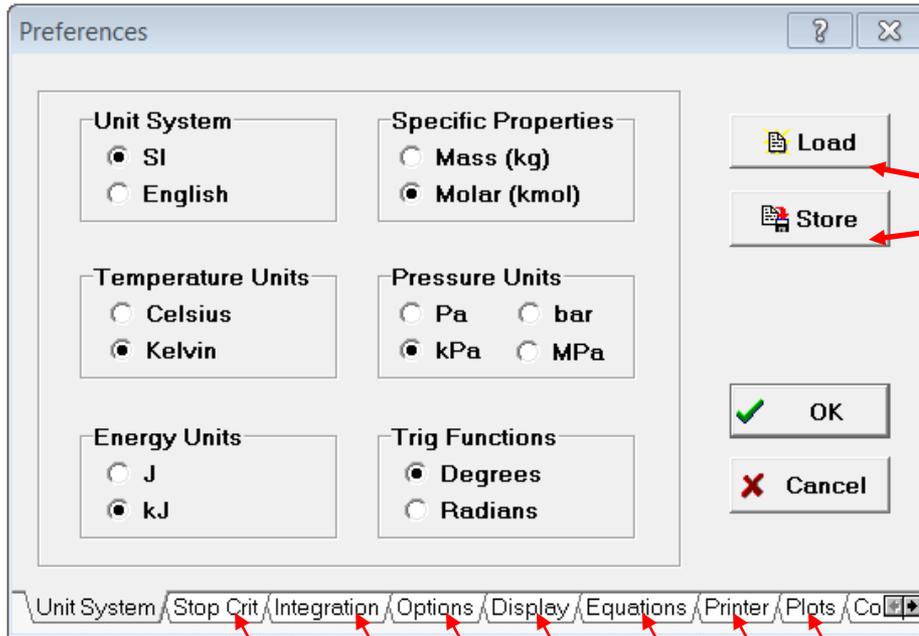
Il est préférable de travailler en **K** pour le projet !



Note: Il est conseillé de garder les 5 valeurs d'unité par défaut-> [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]
Ces valeurs s'appliquent pour toute la durée de la session de travail.

Ces préférences sont conservées lorsque le programme développé est sauvegardé.

Démarrage (suite)



Vous pouvez

recupérer ()

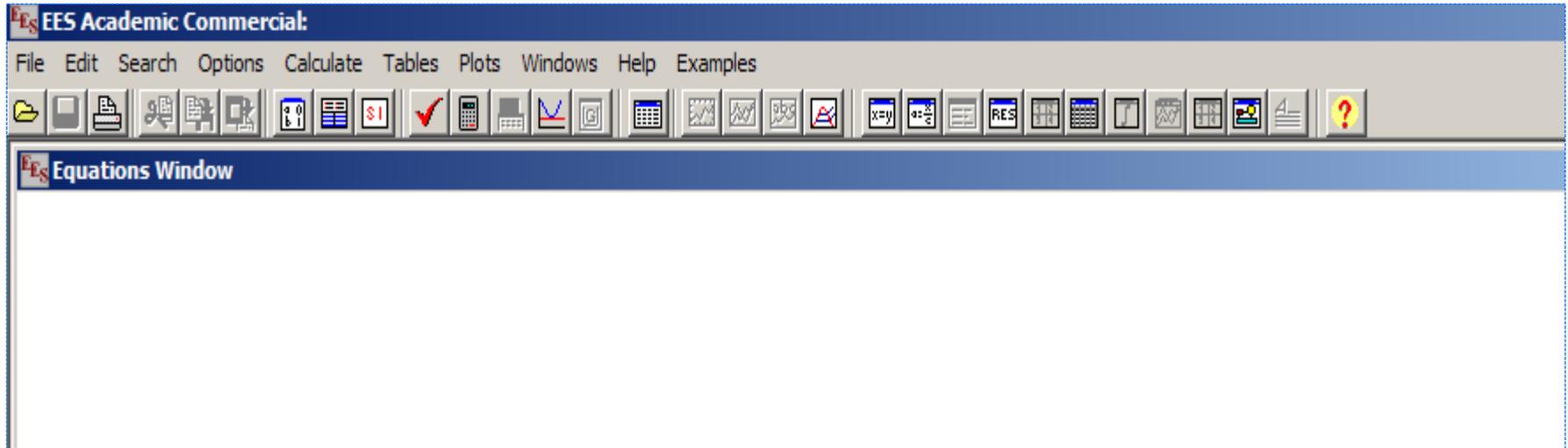
ou

stocker ()

vos préférences

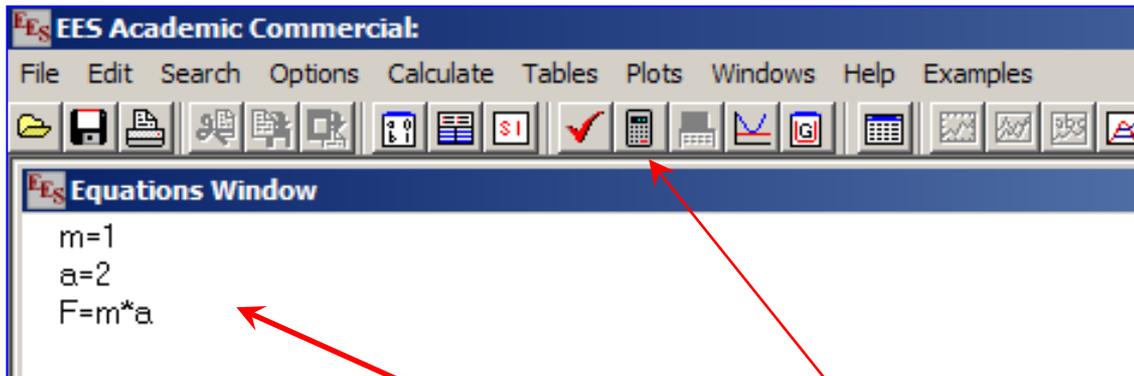
Ces onglets donnent accès à des paramètres que l'on peut changer au démarrage et qui s'appliquent tout au long de la séance de travail.

Equations Window



Le systèmes d'équations à résoudre est écrit dans cette fenêtre
C'est la fenêtre la plus importante du logiciel !!

Equations Window (suite)



Exemple : Écrire ces 3 équations

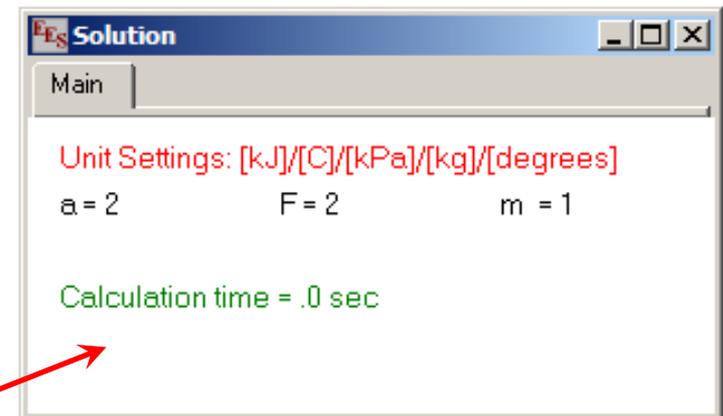
Appuyer sur F2

Ou utiliser le menu Calculate-Solve

Ou utiliser l'icône

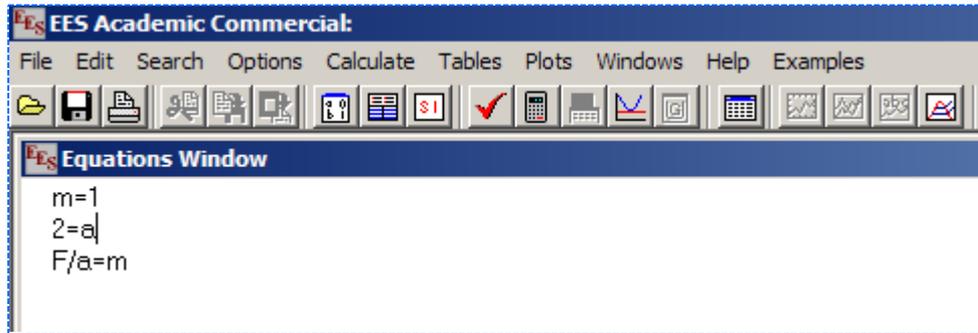


On obtient la solution suivante

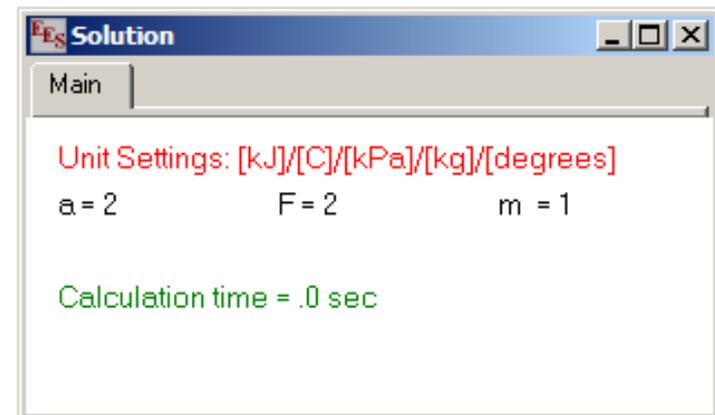


Equations Window (suite)

On peut aussi écrire ces équations de la façon suivante:

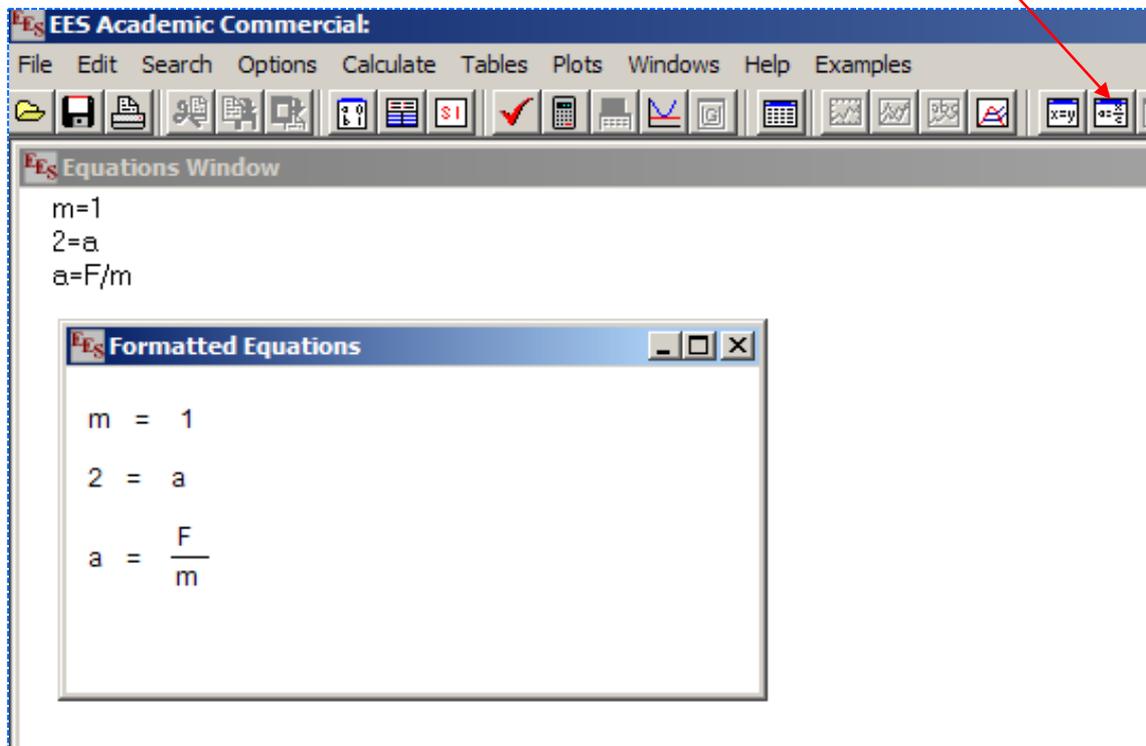


.. et on aurait le même résultat:



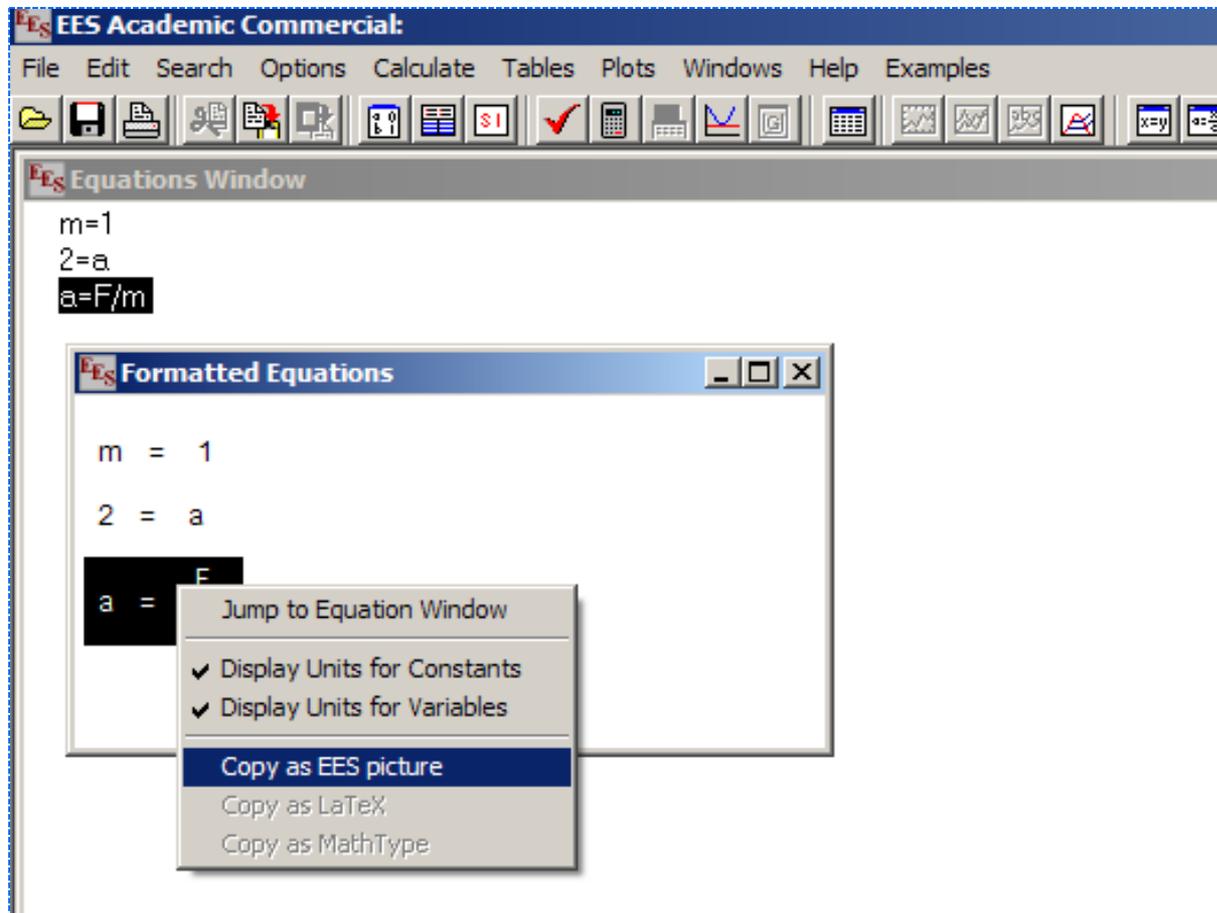
Formatted Equations

- Il est possible de visualiser les équations sous leur forme mathématique («formatter») :



Formatted Equations (suite)

.... et de copier/coller ces équations en utilisant le bouton droit de la souris)



Formatted Equations (suite)

- La fenêtre “Formatted equation” peut s’avérer très utile pour vérifier la saisie des équations complexes :

The image shows two windows from a software application. The top window, titled "Equations Window", contains the following code:

```
{Fonction G : Intégration par adaptation automatique du pas}  
p=1  
z=1 {Fo}  
  
f_beta =((exp(-z*beta**2)-1)/((Bessel_J1(beta)**2)+(Bessel_Y1(beta)**2))*((Bessel_J0(p*beta)*Bessel_Y1(beta)-(Bessel_J1(beta)*Bessel_Y0(p*beta)))))/beta**2  
  
G=(1/pi**2)*INTEGRAL(f_beta, beta,0.00001,500) {automatic step ; cf. tolérance}
```

The bottom window, titled "Formatted Equations", displays the same information in a formatted mathematical layout:

$p = 1$
 $z = 1$

$$f_{\beta} = \frac{\left[\frac{\exp(-z \cdot \beta^2) - 1}{J_1^2(\beta) + Y_1^2(\beta)} \right] \cdot (J_0(p \cdot \beta) \cdot Y_1(\beta) - J_1(\beta) \cdot Y_0(p \cdot \beta))}{\beta^2}$$
$$G = \frac{1}{\pi^2} \cdot \int_{0.00001}^{500} (f_{\beta}) \, d\beta$$

Equations Window (suite)

Règles s'appliquant aux équations :

- Les opérateurs mathématiques utilisés dans les équations sont conformes aux règles utilisées dans
FORTRAN, C ou PASCAL : $+$, $-$, $*$, $/$, $^$ (ou $**$)
- Le logiciel EES n'exige pas qu'une variable soit située à la gauche d'une équation. L'utilisateur n'est pas tenu d'isoler la variable inconnue avant de solutionner
- Les équations peuvent être écrites dans un ordre aléatoire car EES optimise lui-même la méthode de calcul
- Les équations s'écrivent en général sur une seule ligne et se termine par l'appuie de la touche « [Enter](#) »

Equations window (suite)

Règles s'appliquant aux variables :

- La **longueur** maximale des variables : 30 caractères
- EES ne fait pas la distinction entre les **minuscules** et les **majuscules** dans les variables (sauf pour l'alphabet **grec** – voir ci-dessous)
- Les symboles à **proscrire** du nom des variables : ‘ (|) * / + - ^ { } " : ;
- L'utilisateur doit s'assurer de choisir des noms de variables différents des **fonctions** utilisées par EES. Par exemple : **pi**, **sinus** et **enthalpy** sont des fonctions de EES et donc l'utilisateur ne doit pas utiliser ces noms comme noms de variables.
- L'utilisateur peut afficher la dérivée ou la valeur moyenne d'une variable en inscrivant « **_dot** » ou « **_bar** » à la suite de son nom.
- Les **chaînes de caractères** (variable String) doivent obligatoirement commencer par une lettre et se terminer par « **\$** ».
- Il est possible d'utiliser **l'alphabet grec**.

delta ; DELTA ; DELTAT → δ ; Δ ; ΔT

- Il est possible d'écrire des **indices** et des **exposants** :

A_1 ; A/2 ; A/2_i → A_1 ; A^2 ; A_i^2

Caractères spéciaux

- Variables avec caractères spéciaux :

The screenshot displays the EES Academic Commercial interface. The main window, titled "Equations Window", contains the following text:

```
ALPHA_x=6  
a_1=1  
b_dot=2  
c_bar=3  
d|2_i=4  
deltaT=5  
nom$='mec1210'
```

An inset window titled "Solution" is open, showing the results of the calculation. It includes the following information:

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

$\alpha_x = 6$	$a_1 = 1$
$\dot{b} = 2$	$\bar{c} = 3$
$\delta T = 5$	$d_i^2 = 4$
nom\$ = 'mec1210'	

Calculation time = .0 sec

Insertion de commentaires

The screenshot displays the EES Academic Commercial interface. The main window, titled "EES Academic Commercial", has a menu bar (File, Edit, Search, Options, Calculate, Tables, Plots, Windows, Help, Examples) and a toolbar. Below the toolbar is the "EES Equations Window" containing the following text:

```
{Les commentaires entre accolades n'apparaissent pas dans la fenêtre formatted equation}  
"Les commentaires entre guillemets apparaitront dans la fenêtre formatted equation - première couleur"  
  
a=1  
m=2  
F=m*a "Les commentaires entre guillemets apparaitront dans la fenêtre formatted equation - deuxième couleur"
```

Below the Equations Window is the "EES Formatted Equations" window, which shows the formatted output:

```
Les commentaires entre guillemets apparaitront dans la fenêtre formatted equation - première couleur  
  
a = 1  
  
m = 2  
  
F = m · a Les commentaires entre guillemets apparaitront dans la fenêtre formatted equation - deuxième couleur
```

Note : *Il est essentiel d'inclure des commentaires dans les programmes du projet de thermodynamique*

EES est un solveur d'équations

- EES utilise la méthode de Newton comme résoudre (voir le manuel de EES pour plus de détails).
- EES itérera jusqu'à ce que l'erreur relative entre les côtés gauche et droit de chaque équation soit moins qu'une certaine tolérance.

EES est un solveur d'équations (suite)

- On peut vérifier le résidu relatif (et absolu) entre les côtés gauche et droit de chaque équation en examinant la fenêtre

“Residuals”

The screenshot shows the EES software interface. The main window displays the equations $x \cdot \ln(x) = Y^3$ and $x^2 = 1/Y$. The Residuals window is open, showing the following table:

Block	Rel. Res.	Abs. Res.	Equations
1	2.096E-10	5.674E-11	$x \cdot \ln(x) = Y^3$
1	2.550E-10	2.550E-10	$x^2 = 1/Y$

Variables shown in bold font are determined by the equation(s) in each block.

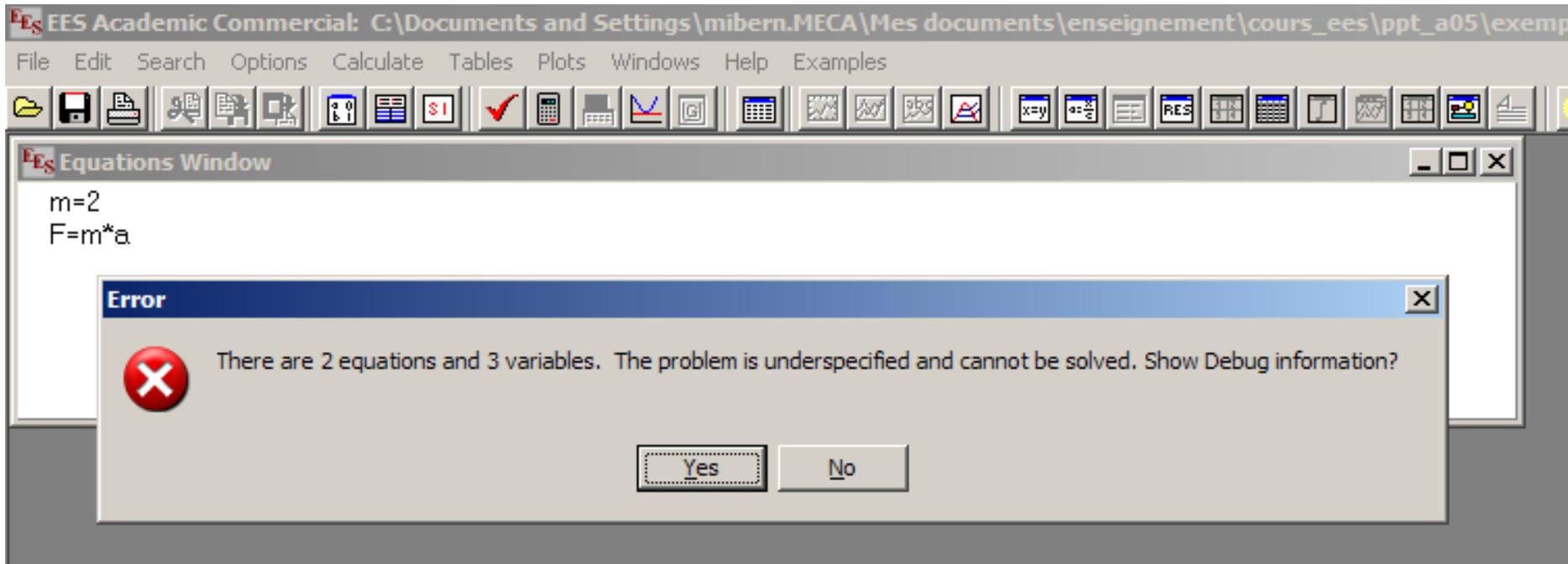
Résidu relatif

Le processus itératif arrête lorsque le résidu relatif est inférieur à 10^{-6}

L'examen des résidus peut s'avérer utile lors du “débugage” d'un programme

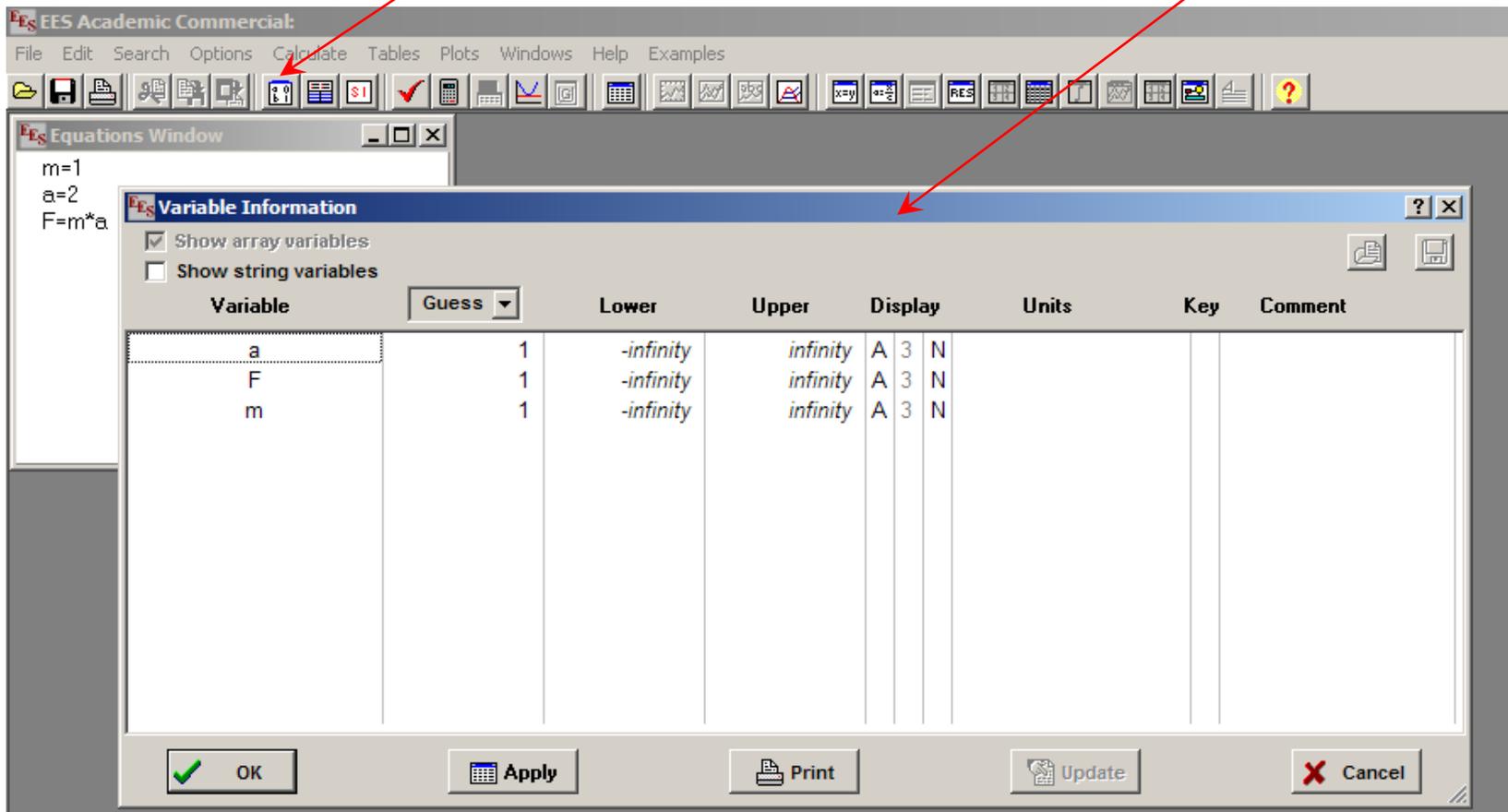
EES est un solveur d'équations (suite)

- On doit s'assurer d'avoir « n » équations pour « n » inconnues ... sinon EES génère un message d'erreur.



Variable information

- En appuyant sur F9 ou sur l'icône « Variable Info » on obtient le tableau suivant
- Il est *fortement recommandé* d'entrer toute l'information pour chaque variable.



The screenshot shows the EES Academic Commercial software interface. The main window displays the Equations Window with the following content:

```
m=1
a=2
F=m*a
```

The Variable Information dialog box is open, showing the following table:

Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units	Key	Comment
a	1	-infinity	infinity	A 3 N			
F	1	-infinity	infinity	A 3 N			
m	1	-infinity	infinity	A 3 N			

The dialog box also includes checkboxes for "Show array variables" (checked) and "Show string variables" (unchecked), and buttons for OK, Apply, Print, Update, and Cancel.

Variable information (suite)

Variable	Guess ▼	Lower	Upper
a	1	<i>-infinity</i>	<i>infinity</i>
F	1	<i>-infinity</i>	<i>infinity</i>
m	1	<i>-infinity</i>	<i>infinity</i>

- Si vous connaissez l'étendue probable de la valeur d'une variable à calculer, il est conseillé de changer les limites inférieures (**lower**) et supérieures (**upper**) pour indiquer cette étendue.
- Si vous avez une hypothèse raisonnable de la valeur finale d'une variable critique, il est conseillé d'indiquer une valeur cible « **guess** » s'approchant de la valeur finale.
- Ces opérations permettent d'accélérer le processus itératif de solution et d'empêcher le système de diverger.

Variable information (suite)

	Display			Units
/	A	3	N	
/	A	3	N	
/	A	3	N	

- « **Display** » permet de choisir le nombre de chiffres significatifs et le mode de représentation de chaque variable.
- « **Units** » permet de fixer les unités de la variable. C'est le *paramètre le plus important* à entrer dans cette fenêtre.

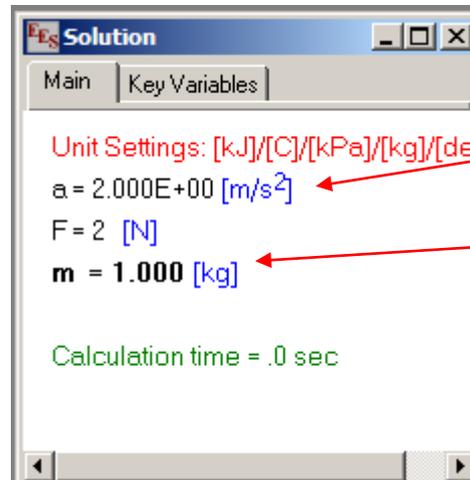
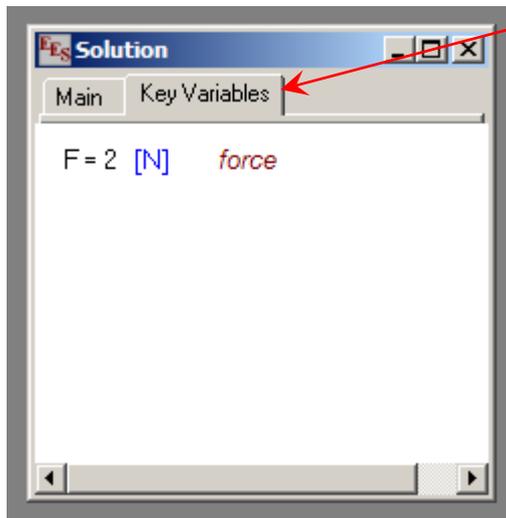
Variable information (suite)

Key	Comment

- En cliquant sur « **Key** » cela permet d'identifier cette variable comme une variable « clé ». Les variables « clé » apparaissent dans une fenêtre distincte lors de la solution finale.
- « **Comment** » permet d'apposer un commentaire sur certaines variables. Ces commentaires sont apposés aux variables « **Key** »

Variable information (suite)

Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units	Key	Comment
a	1.000E+00	-infinity	infinity	E 3 N	m/s^2		accélération
F	1	-infinity	infinity	A 3 N	N	X	force
m	1.000	0.0000E+00	infinity	F 3 B	kg		masse



unités

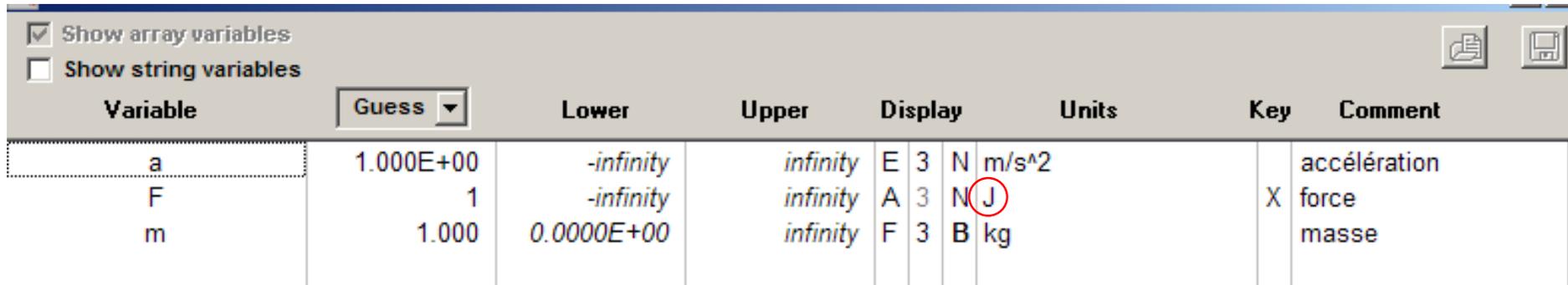
Variable en gras (bold)

Vérification de la cohérence des unités des équations

- La fonction F8 (« **Check units** ») est l'une des plus utiles de EES
- Elle permet de vérifier que les unités de part et d'autre de chaque équation sont cohérentes

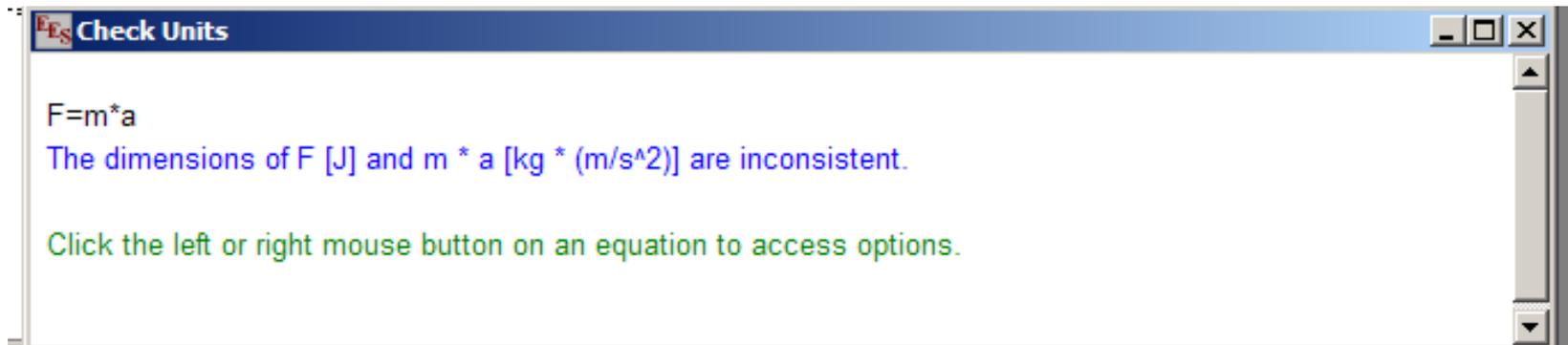
Vérification de la cohérence des unités des équations (suite)

- Pour les fins de cet exemple, introduisons une erreur dans l'unité de la force F.



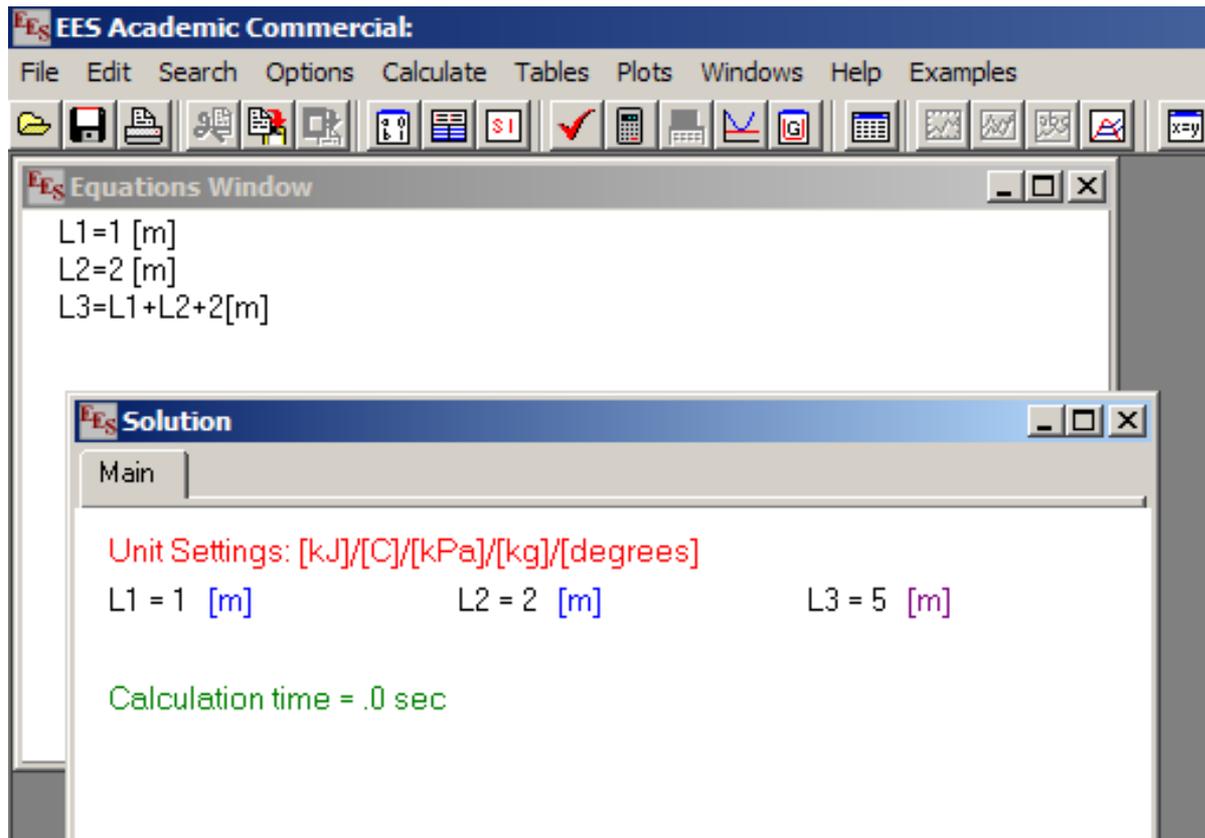
Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units	Key	Comment
a	1.000E+00	-infinity	infinity	E 3 N	m/s^2		accélération
F	1	-infinity	infinity	A 3 N	J	X	force
m	1.000	0.0000E+00	infinity	F 3 B	kg		masse

- En appuyant sur F8 (**check units**) on obtient le message suivant:



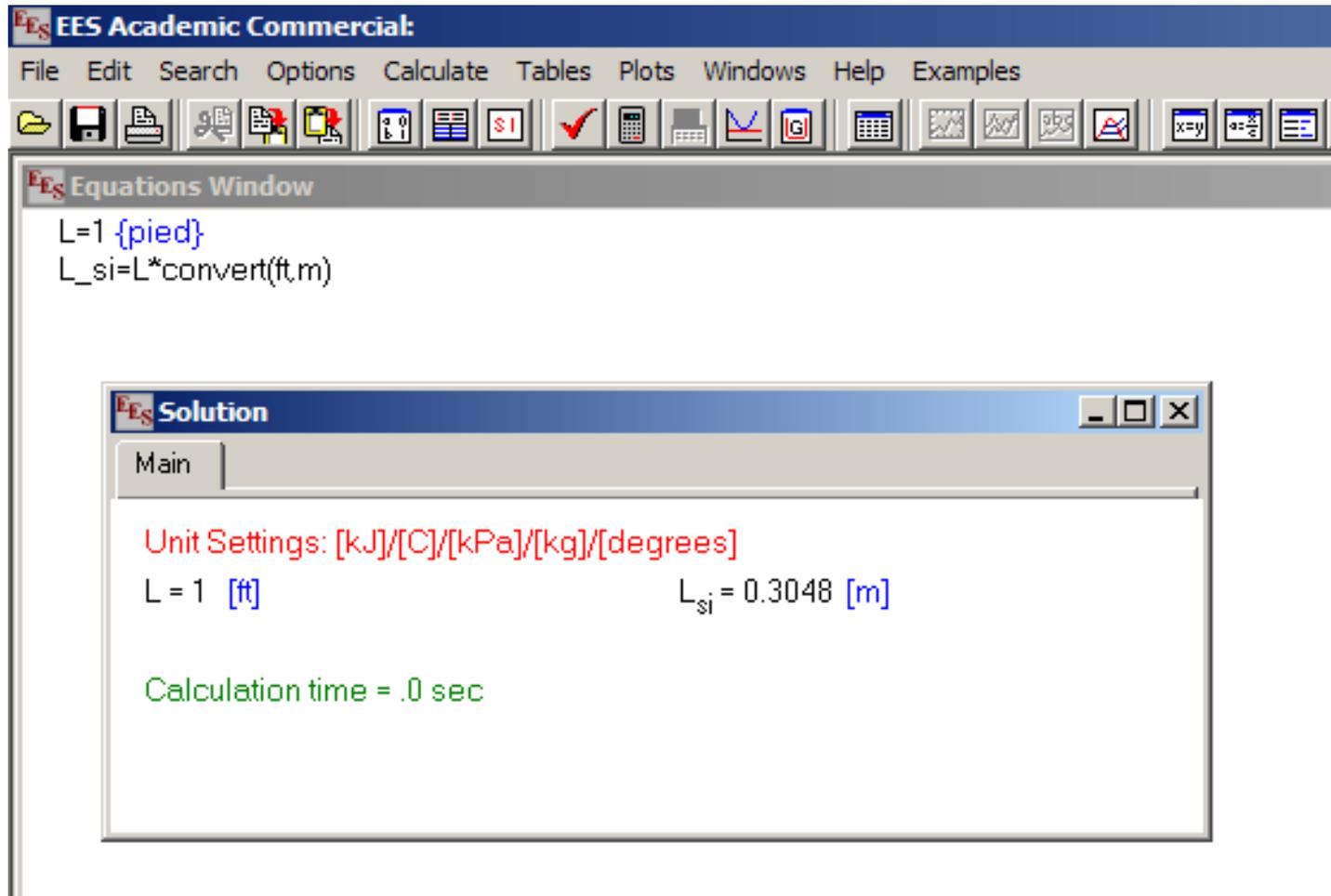
Assignation des unités pour les constantes numériques

- Il est recommandé d'entrer toutes les unités par l'intermédiaire du tableau « **Variable info** ». Toutefois, EES permet d'entrer les unités des constantes numériques dans la fenêtre « **Equations** » tel que montré ci-dessous :



Facteurs de conversion

- La fonction « **Convert** » permet de faire la conversion d'unités.



The screenshot displays the EES Academic Commercial interface. The main window, titled "Equations Window", contains the following text:

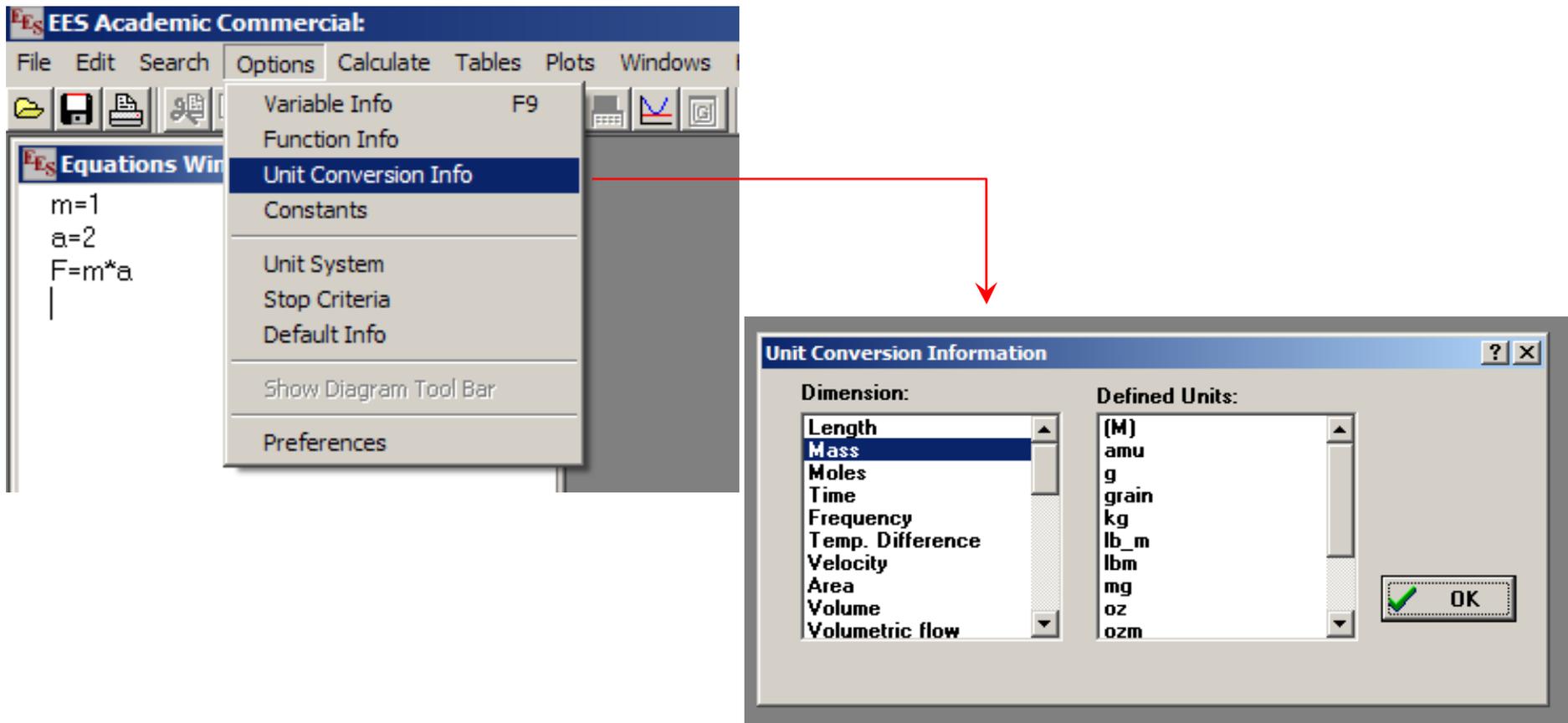
```
L=1 {pied}  
L_si=L*convert(ft,m)
```

A "Solution" window is open, showing the results of the calculation:

```
Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]  
L = 1 [ft]                L_si = 0.3048 [m]  
  
Calculation time = .0 sec
```

'Variable info' & Conversion d'unités

- Les unités reconnues par EES peuvent être visualisées dans le menu « **Options** » et onglet « **Unit Conversion Info** » :



Facteurs de conversion (suite)

Exemple d'utilisation :

$$P_a = 10 \quad [\text{psi}]$$

$$P_{si} = P_a * \text{Convert}(\text{psi}, \text{kPa}) \quad \{ \text{Pression convertie en kPa} \}$$

Mise en garde :

La fonction « **Convert** » converti des différences de température

$$\text{Ex :} \quad \Delta TK = \Delta TC * \text{Convert}(\text{C}, \text{K}) \quad \text{-----} > \quad \underline{2 \text{ paramètres}}$$

La fonction « **ConverTemp** » converti des températures d'une échelle à une autre (de Fahrenheit à Celsius par exemple)

$$\text{Ex :} \quad TK = \text{ConverTemp}(\text{C}, \text{K}, \text{TC}) \quad \text{-----} > \quad \underline{3 \text{ paramètres}}$$

Caractères spéciaux :

Dans le tableau « Variable Info », pour entrer μ (pour μm par exemple)

----> Faites (Alt-Key) et taper 230 sur le clavier numérique

Cela donne accès aux caractères ASCII

Voir 'Index' pour la liste des caractères disponibles

De même : Le symbole des degré ($^{\circ}$) -----> (Alt) + 248

Pour représenter une multiplication (\cdot) -----> (Alt) + 250

Unités composées :

Les 3 symboles suivants peuvent être utilisés comme séparateur d'unités :

(-) , (*) , Alt-250 (\cdot)

Par exemple : Ces 3 expressions sont équivalentes

-----> W-hr , W*hr , W \cdot hr

Fonctions mathématique

The image shows the 'Commercial' menu of the EES software. The menu items are: Variable Info (F9), Function Info (highlighted), Unit Conversion Info, Constants, Unit System, Stop Criteria, Default Info, Show Diagram Tool Bar, and Preferences. The 'Function Information' dialog box is open, showing radio buttons for 'Math functions' (selected), 'EES library routines', 'Fluid properties', 'External routines', and 'Solid/liquid properties'. A list of functions is shown, with 'ABS' selected. Below the list is an example: 'Ex: abs(Value)'. At the bottom of the dialog are 'Paste' and 'Done' buttons.

Commercial:

- Options
- Calculate
- Tables
- Plots
- Windows
- Help
- Examples

Variable Info F9

Function Info

- Unit Conversion Info
- Constants
- Unit System
- Stop Criteria
- Default Info
- Show Diagram Tool Bar
- Preferences

Function Information

- Math functions
- EES library routines
- Fluid properties
- External routines
- Solid/liquid properties

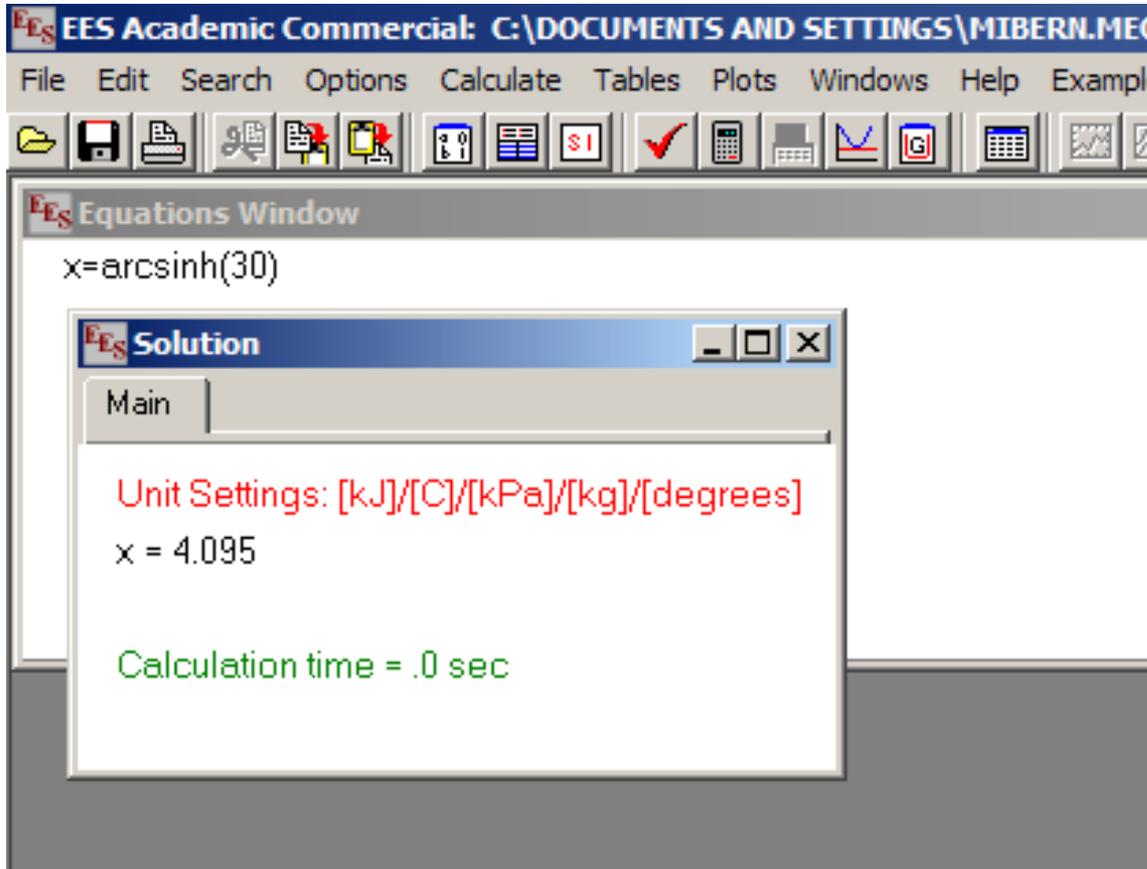
? Function Info

ABS
ANGLE
ANGLEDEG
ANGLERAD
ARCCOS
ARCCOSH
ARCSIN
ARCSINH
ARCTAN

Ex: abs(Value)

Paste Done

Fonctions mathématique (suite)



Note :

Dans cet exemple la valeur de 30 est en degré, puisque les « degrés » ont été fixées dans le panneau de préférences au démarrage

PROPRIÉTÉS THERMODYNAMIQUES

NOTE : Une des forces du logiciel EES est sa banque de propriétés pour les
Gaz – Liquides - Solides

ATTENTION : Les propriétés physiques disponibles diffèrent selon le type de matériau !

Les différents matériaux sont regroupés 6 catégories :

- **Ideal Gases** : Gaz parfait ----- CO₂
- **Real fluids** : Fluides réels
 - a) Fluides (gaz ou liquides) courants ----- CarbonDioxide
 - b) Réfrigérants (la série Rxxx)
- **AirH2O** : Air humide
- **NASA** : Tableau complet de la NASA pour les gaz parfaits
- **Brines** : Saumures servant de caloporteur
- **Incompressible** : Fluides et solides

Propriétés thermodynamiques : Fluides réels (suite)

----- REAL FLUIDS -----

Acetone	m-Xylene	R11	R218
Air_ha	Methane	R12	R227ea
Ammonia	Methanol	R13	R236fa
Argon	o-Xylene	R14	R245fa
Benzene	n-Butane	R22	R290
Butene	n-Decane	R23	R404A
Carbondioxide	n-Dodecane	R32	R407C
Carbonmonoxide	n-Heptane	R41	R410A
CarbonylSulfide	n-Hexane	R114	R423A
Cis-2-Butene	n-Octane	R116	R500
Cyclohexane	n-Nonane	R123	R502
D4	n-Pentane	R124	R507A
D5	Neon	R125	R508B
Deuterium	Neopentane	R134a	R600
DimethylCarbonate	Nitrogen	R141b	R600a
DimethylEther	NitrousOxide	R142b	R717
Ethane	Oxygen	R143a	R718
Ethanol	o-Zylene	R143m	R744
Ethylbenzene	Parahydrogen	R152a	RC318
Ethylene	Propane	R161	R1234yf
Fluorine	p-Xylene		R1234ze
Helium	Propylene		
Hydrogen	Steam		
HFE7500	Steam_IAPWS		
HydrogenSulfide	Steam_NBS		
Ice	SulfurDioxide		
Isobutane	SulfurHexafluoride		
Isobutene	Toluene		
Isohexane	trans-2-butene		
Isopentane	Water		
Krypton	Xenon		
MDM			
MD4M			
MM			

Pour le cours MEC1210 :
Utilisation de : Water



Propriétés thermodynamiques : (suite)

Gaz parfaits - Saumures - Fluides & Solides

---- IDEAL GASES ----

[Air](#)
[AirH2O](#)
[Ar](#)
[CH3OH](#)
[CH4](#)
[C2H2](#)
[C2H4](#)
[C2H6](#)
[C2H5OH](#)
[C3H8](#)
[C4H10](#)
[C5H12](#)
[C6H14](#)
[C8H18](#)
[CO](#)
[CO2](#)
[H2](#)
[H2O](#)
[He](#)
[N2](#)
[NO](#)
[NO2](#)
[O2](#)
[SO2](#)
[NASA Gases](#)

----- BRINES -----

[CACL2](#) (Calcium Chloride-Water)
[EA](#) (Ethylene Alcohol-Water)
[EG](#) (Ethylene Glycol-Water)
[GLYC](#) (Glycerol-Water)
[K2CO3](#) (Potassium Carbonate-Water)
[KAC](#) (Potassium Acetate-Water)
[KFO](#) (Potassium Formate-Water)
[LICL](#) (Lithium Chloride-Water)
[MA](#) (Methyl Alcohol-Water)
[MGCL2](#) (Magnesium Chloride-Water)
[NACL](#) (Sodium Chloride-Water)
[NH3W](#) (Ammonia-Water)
[PG](#) (Propylene Glycol-Water)

----- INCOMPRESSIBLE -----

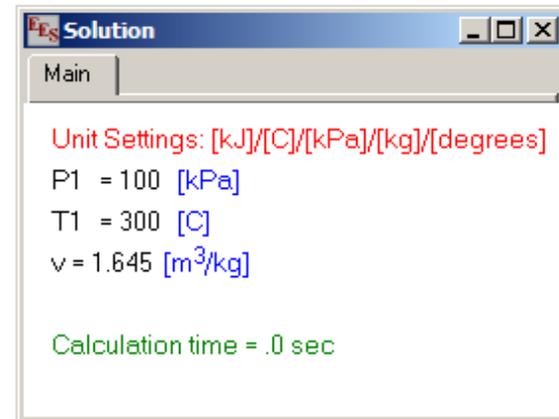
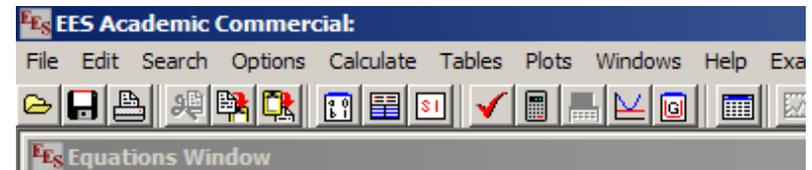
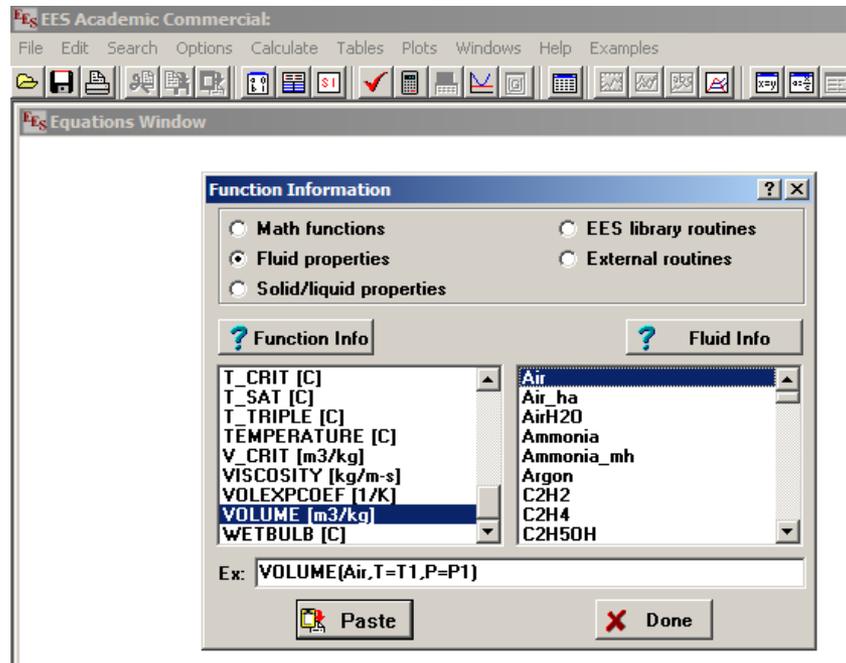
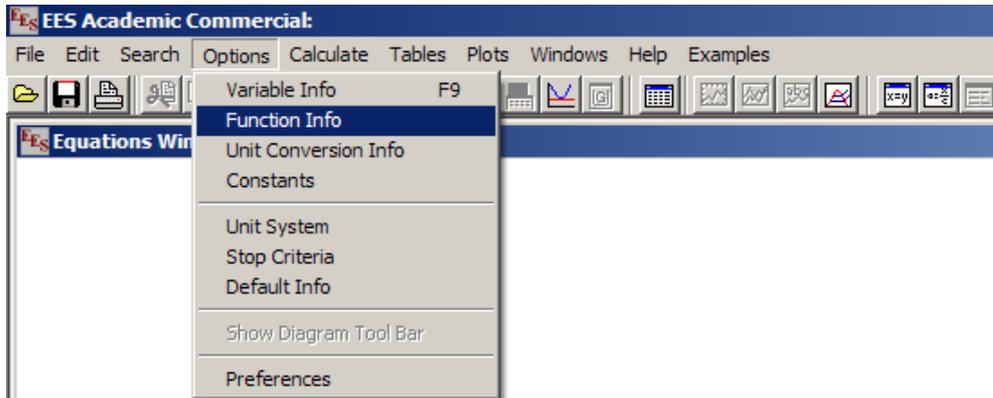
Incompressible substances are provided in separate Lookup (.LKT) tables. See the [Function Information dialog](#) for a list of these substances.

Propriétés thermodynamiques (suite)

Example :

Évaluer le volume spécifique de l'air à

$$T = 300 \text{ °C} \quad \text{et} \quad P = 100 \text{ kPa}$$



Propriétés - Eau

Pour l'eau, il y a plusieurs possibilités:

Les 3 fluides suivants (tous de l'eau) sont équivalents:

Water

Steam

R718

Les propriétés évaluées en utilisant ces 3 noms sont imprécises à haute pression (> 350 atm)

The screenshot displays the EES Academic Commercial interface. The main window shows the following equations:

```
T1=300
P1=100
a=ENTHALPY(Water,T=T1,P=P1)
b=ENTHALPY(Steam,T=T1,P=P1)
c=ENTHALPY(R718,T=T1,P=P1)
```

The Solution window shows the following results:

```
Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]
a = 3074 [kJ/kg]    b = 3074 [kJ/kg]
c = 3074 [kJ/kg]    P1 = 100 [kPa]
T1 = 300 [C]

Calculation time = .0 sec
```

Sous-programmes dans EES :

- Le processus itératif ne permet pas d'introduire des boucles dans la fenêtre « **Equations** », sauf par la commande « **Duplicate** ».

Ex :

```
DUPLICATE i = 1,N
  DUPLICATE j = 1,N
    Z[i,j] = Sum(X[i,k] * Y[k,j] , k=1,N)
  END      " boucle : j "
END      " boucle : i "
```

NOTE : Les autres types de boucles sont permises dans les **FUNCTION** et **PROCEDURE** qui doivent être placées avant le programme principal

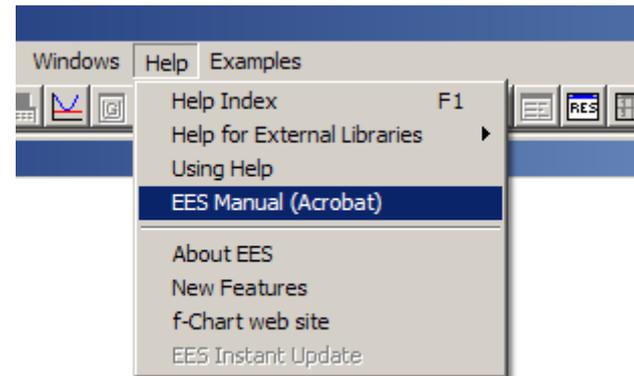
Ex :

```
IF (X<Y) THEN
  A = 2
  B = 3
ELSE
  A = 25
  B = 35
ENDIF
```

Aide – Manuel - Exemples

- EES possède un fichier d'aide accessible par le menu “Help” (ou en cliquant sur F1)
- Le manuel (format pdf) n'est malheureusement pas accessible à partir du menu “Help” dans les laboratoires informatiques de l'École.

Cependant, il est accessible à partir du lecteur J: (J:\EES32)



- EES contient un bon nombre d'exemples que l'on peut consulter à partir du menu “*Exemples*”