

***Auteur : Jean NOËL***

***Diffusion : Utilisateurs du logiciel BOOST***

***Date : Juillet 2024***

# **Documentation et manuel**

## **BOOST**

### **V6.50**

---

**CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES AÉRAULIQUES ET THERMIQUES**

Domaine Scientifique de la Doua - 25, avenue des Arts - BP 2042 - 69603 Villeurbanne Cedex - France  
Tél. +33 (0)4 72 44 49 00 - Fax. +33 (0)4 72 44 49 49 - [www.cetiat.fr](http://www.cetiat.fr) - E. Mail : [cetiat.commercial@cetiat.fr](mailto:cetiat.commercial@cetiat.fr)

*Livraisons* : Domaine Scientifique de la Doua - 54, avenue Niels Bohr - 69100 Villeurbanne

Siret 775 686 967 00024 - Ape 731 Z



## **SOMMAIRE**

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
1.1. PRÉSENTATION DE BOOST .....	4
1.2. SPÉCIFICITÉS DE BOOST.....	4
1.3. HISTORIQUE DE BOOST.....	5
1.4. LANCEMENT DE L'APPLICATION.....	6
<b>2. PRÉSENTATION DE L'INTERFACE GRAPHIQUE.....</b>	<b>6</b>
2.1. L'ÉCRAN PRINCIPAL .....	6
2.2. PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTES VUES.....	9
2.3. CRÉATION D'UN NOUVEAU DOCUMENT (MODULE) .....	14
2.4. L'ÉCRAN D'AFFICHAGE D'UNE VUE HIÉRARCHIQUE D'UN MÉTAMODULE.....	15
<b>3. UTILISATION DES VUES.....</b>	<b>16</b>
3.1. VUE « DONNÉE » .....	16
3.2. VUE « CONNEXIONS » .....	23
3.3. VUE « SOURCE » .....	28
3.4. VUE « SYNOPSIS » .....	29
3.5. VUE « CALCULS TRANSITOIRES » .....	30
3.6. VUE « MONTE-CARLO » .....	34
<b>4. TUTORIAL POUR LES CALCULS PERMANENTS ET TRANSITOIRES.....</b>	<b>40</b>
4.1. TUTORIAL D'UN MODULE "SOMME DE 2 VARIABLES".....	40
4.2. TUTORIAL MÉTAMODULE D'ASSEMBLAGE DES 2 MODULES "SOMME DE 2 VARIABLES" .....	40
4.3. TUTORIAL D'UN MODULE "MASSE" ("ÉCHAUFFEMENT D'UNE MASSE).....	41
4.4. TUTORIAL D'UN MÉTAMODULE "MASSE" RELIÉ AU MODULE MET DE MÉTÉO .....	44
4.5. TUTORIAL D'UN MODÈLE SIMPLIFIÉE DE PAROI .....	45
4.6. TUTORIAL D'UN MODÈLE D'ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES COUPLÉES NON LINÉAIRES .....	47
4.7. TUTORIAL DU MODÈLE DE BALLON BAL (VERSION 17 V1).....	48
4.8. TUTORIAL DE L'ASSEMBLAGE BAL + TAP (17 V1).....	50
4.9. TUTORIAL DU MODÈLE DE PAC GUN (VERSION 17 V1) .....	51
4.10. TUTORIAL DU MODÈLE DE BÂTIMENT BAT (VERSION 17 V1) .....	52
<b>5. RÉFÉRENCES.....</b>	<b>53</b>

## **1. Introduction**

### ***1.1. Présentation de BOOST***

BOOST (« **BO**iler **O**ptimization and **S**imulation **T**ool ») est un environnement de simulation de systèmes instationnaires, et de simulation par la méthode de Monte Carlo.

Ces systèmes peuvent être « simples » comme le brûleur d'une chaudière, ou « complexes », c'est-à-dire résultant d'un assemblage de systèmes « simples ». Ainsi la modélisation d'une chaudière (système « complexe ») résulte d'un assemblage de systèmes « simples » pour l'alimentation gaz et l'évacuation des fumées, le brûleur, l'échangeur de chaleur, etc.

Les différents éléments représentant ces systèmes peuvent être développés indépendamment et implémentés sous la forme de DLL (« Dynamic Library Link »). La gestion des communications entre les différents éléments est transparente pour l'utilisateur.

### ***1.2. Spécificités de BOOST***

#### **1.2.1. Les "documents" et les "vues"**

Le logiciel BOOST est une application gérant des documents comprenant à la fois des systèmes d'équations, leur documentation, un jeu de données et de résultats.

Il est organisé autour d'une interface **multi-documents** classique de l'environnement Windows, permettant de gérer un ou plusieurs documents à travers des « vues ».

L'utilisateur peut charger et gérer plusieurs documents simultanément. Ces documents, appelés « **modules** », sont associés à des fichiers possédant l'extension « boo ».

#### **1.2.2. Un document, « module » et « metamodule »**

Un document de type « module » possède :

- Les sources (« programmes ») de l'implémentation du système d'équations.
- La DLL des modules, ainsi que les connexions entre modules.
- Le dernier jeu de données d'entrée et de résultats de calcul.

Un module ne contient pas les bibliothèques utilisées, qui restent associées au logiciel.

Chaque document peut lui-même contenir d'autres documents : il s'agit alors de « **méta-modules** » constitués d'un assemblage de modules.

Un document de type « metamodule » possède la description des modules le composant, ainsi que celles des connexions entre modules.

Une « vue » permet d'aborder le document ou « module » selon un angle particulier, par exemple :

- De visualiser graphiquement ses connexions avec d'autres modules (vue « Connexions »).
- De visualiser dans un éditeur « texte » la programmation du module (vue « Source »).
- De réaliser des calculs et d'afficher leurs résultats sous forme de graphiques (vue « Calculs Transitoires »), ou d'en présenter certains sur un fond graphique (vue « Synopsis »).

## 1.3. Historique de BOOST

### 1.3.1. Les premières versions

- Version 1 : écriture du noyau, interface texte (1998).
- Version 2 : interface Excel (1999).
- Version 3 : ébauche d'interface Windows (2000) et première note technique (NTV 2000/149).
- Version 4 : version 4.5, interface Window finalisée (2001), version 4.7 (2002).
- Version 5 : décembre 2004.

### 1.3.2. Les versions à partir de 2004

**Congrès 2004** (BOOST V5.3) : amélioration de l'interface (modules certification Types C), calculs d'incertitudes (méthode de Monte Carlo), calculs transitoires (charge partielle).

**Congrès 2005** : débogage de la version, compression des fichiers, automatisation de la création de modules, calcul d'incertitudes selon la méthode de Monte-Carlo.

**Congrès 2006** (BOOST V5.4) : amélioration du post-traitement des calculs en transitoire, vue multipages pour la présentation des données d'entrée et de sortie, nouvel éditeur pour le programme source du module, nouvelle vue pour les calculs paramétriques.

**Congrès 2007** : compte-rendu d'études sur les chaudières avec BOOST.

**Congrès 2008** (BOOST V5.6) : version Internet (accès à une page d'accueil, page de News et possibilité d'inscription avec droits d'accès : ces fonctionnalités ont été abandonnées).

**Congrès 2009 à 2013** (BOOST V5.6.1 à V5.8.1) : refonte du logiciel par ré-écriture des algorithmes de base, suppression de toutes les fonctionnalités superflues ou redondantes, amélioration de l'ergonomie.

**Congrès 2013/2014** (BOOST V5.8.2 et suivantes) : reprise et transformation de l'outil en un produit fonctionnel.

**Congrès 2015** : sortie de la version 5.99, prélude à la version V6.00, version stabilisée. La version **V5.99** contient les fonctionnalités techniques prévues pour la version **V6.00**, en gardant encore les anciens logos et graphismes qu'il est prévu de faire évoluer, avec les nouveautés suivantes : passage de 3 à 7 points d'ancrage des connexions par face d'icône d'un module, copier / coller de variables, ré-affectation d'une connexion à un autre module, prise en compte du compilateur libre GCC, et possibilité de placer ce compilateur sur un autre disque que C, prise en compte d'une aide en ligne "hypertexte".

**Mai 2017** : sortie de la version 6.10, prolongement de la version stabilisée V6.00, avec quelques améliorations (analyse de sensibilité) et corrections.

**2017/2018** : la version 6.20 améliore à la marge la version 6.10, tandis que la version 6.25 préfigure la future version complètement ré-écrite (pour la maintenance à long terme), avec l'ajout de fonctionnalités innovantes facilitant la mise en œuvre (remplacement automatique d'un module, lancement d'un calcul sous forme de process indépendant, inter-opérabilité, etc.).

**2019** : la version 6.35 corrige quelques bogues par rapport à la V6.30 et peut être considérée comme "sans bogue" bloquant.

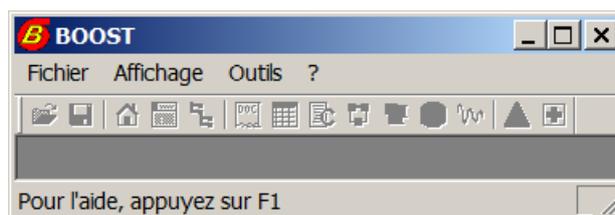
**2020** : la version 6.40 permet l'import et l'export dans un fichier des données d'une vue "Données".

**2024** : la version 6.50 permet d'importer un jeu de données, avec le lancement automatique du calcul statistique et une exportation des sorties dans un fichier « texte ».

## 1.4. Lancement de l'application

Dans le package BOOST, l'application à lancer est « **Boost\_Vxxx.exe** », xxx = numéro de version.

Au lancement, l'écran suivant s'affiche.



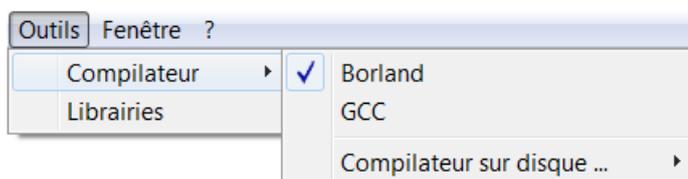
Les menus permettent les actions suivantes :

**Fichier** : création ou lecture d'un document (« module » ou « méta-module »).

**Affichage** : affichage de la barre d'outils ou de la barre d'état.

**Outils** : « compilateur » (pour le choix du compilateur) et « librairies » pour l'affichage du contenu des librairies (dll).

Le menu "Outils" permet de choisir le compilateur (Borland ou GCC).



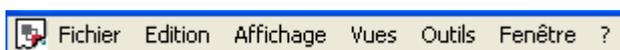
Le compilateur Borland doit être placé dans le répertoire "C:\Borland" exactement, et le compilateur GCC dans "X:\MinGW\_c" (l'emplacement X est quelconque et se choisit avec le menu "Compilateur sur disque", mais le nom du répertoire doit être "MinGW\_c").

## 2. Présentation de l'interface graphique

### 2.1. L'écran principal

L'écran principal présente les menus de gestion des fichiers et d'édition, et la **barre principale de boutons** pour l'affichage des différentes « vues » d'un document (« module »).

#### 2.1.1. Les menus



Les menus permettent les actions suivantes :

**Fichier** : création, écriture et lecture d'un document (« module » ou « méta-module »).

**Edition** : annulation, copie, suppression.

**Affichage** : affichage des barres d'outils et sélecteur de modules.

**Vues** : affichage des vues possibles d'un module.

**Outils** : affichage des options et la listes des librairies, choix du compilateur.

**Fenêtres** : affichage de la liste de documents ouverts (ici les modules chargés).

Une **aide en ligne**, basée sur ce manuel, est maintenant disponible.

### 2.1.1. La barre de boutons



#### 2.1.1.1. La barre de boutons « Navigation »

Cette barre de boutons est commune à toutes les vues et permet de « naviguer » entre les différentes vues, d'afficher ou non le sélecteur de modules et le cartouche.

3 **Déplacement vers le « parent »** du module sélectionné.

4-5 Afficher le **cartouche** (4) ou le **sélecteur de modules** (5).

#### 2.1.1.2. Les différentes vues

Les « vues » permettent d'aborder le document ou « module » selon un angle particulier :

- 6. « [Fiche](#) » : gestion de la fiche descriptive du module.
- 7. « [Données](#) » : gestion des données d'entrée et de sortie.
- 8. « [Source](#) » (programme en langage C associé à un module) : édition et compilation.
- 9. « [Connexions](#) » : gestion des modules et des connexions d'un métamodule.
- 10. « [Synopsis](#) » : schéma du module et affichage de certaines de ses données.
- 11. « [Calculs Monte-Carlo](#) » : gestion des simulations Monte-Carlo.
- 12. « [Calculs Transitoires](#) » : gestion des simulations transitoires.

### 2.1.2. Le sélecteur de modules (document)

Le **sélecteur de modules** permet de naviguer entre les modules composant un métamodule.

Les modules composant un métamodule ne sont visibles que pour les éditions « Expert » et « Développeur ».



### 2.1.3. Le cartouche

Le « cartouche » est la partie d'écran en dessous de la barre principale de boutons.



Il présente l'icône et le nom du module courant et éventuellement celui du méta-module "parent".

Dans la suite du document, pour limiter la place, le cartouche est absent des copies d'écran.

## 2.1.4. Le gestionnaire de page

### 2.1.4.1. Le système d'onglets

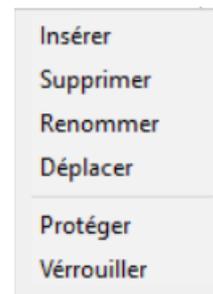
Certaines vues présentent un affichage par page. Une page présente un certain nombre de données associées à la vue, avec un format et une disposition propre.



La liste des pages s'affiche en bas de la page sous forme d'"onglets".

La position d'une page peut se modifier par click gauche sur la page, suivi d'un glisser/déposer à l'emplacement souhaité.

Un click droit sur la barre des onglets fait afficher le menu contextuel permettant la gestion des pages.



### 2.1.4.2. La protection d'un page

Un blocage par mot de passe peut limiter l'accès à certaines fonctionnalités associées à la page :

- la "**protection**" consiste dans l'interdiction de toute opération hors saisie de valeur,
- le "**verrouillage**" consiste dans l'interdiction de toute opération (la page est donc en lecture seule).

Le mot de passe doit comporter au moins 4 caractères. La dé-protection ou le dé-verrouillage se fait sur le même écran avec le même mot de passe.

Les pages "bloquées" sont grisées, et présentent une icône avec un cadenas (page "protégée") ou une clé (page "verrouillée"), comme illustrée sur la figure ci-contre.

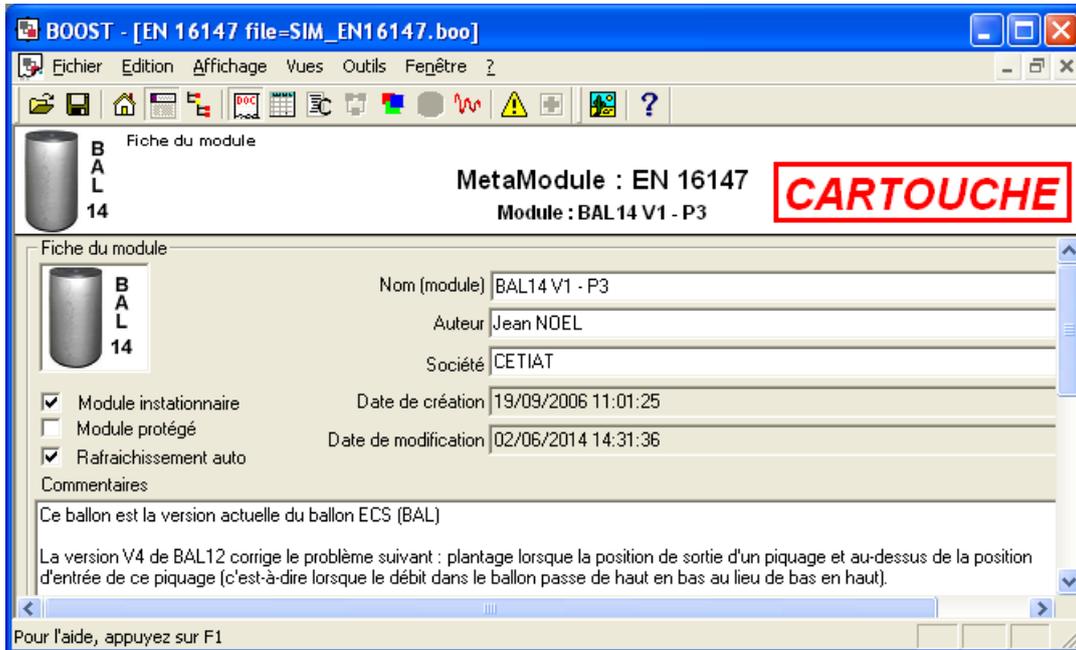


En cas d'**oubli du mot de passe**, demander l'intervention du CETIAT.

## 2.2. Présentation des différentes vues

### 2.2.1. Vue « Fiche »

Cette vue présente des informations sur le module, à savoir une icône (image), le nom du module, son auteur et sa société, son type (transitoire / instationnaire ou permanent / stationnaire), les dates de création et modification (lecture seule), et un espace de commentaires modifiable. Le nom du module est le libellé qui apparaît dans la liste des documents ouverts (menu « Fenêtre »).



Icône  : chaque module est représenté par une icône (à gauche dans le cartouche). Pour la modifier, il faut cliquer dans le rectangle pour obtenir la boîte de dialogue de sélection.

Type : le type permanent ou transitoire d'un module peut être modifié par une sélection dans la boîte à cocher. La modification nécessite de recompiler le module. A noter que la vue « Calculs statistiques » n'est accessible que pour les modules stationnaires.

Remarque : le type d'un métamodule dépend des types des modules qui le composent.

**Un métamodule est transitoire** si au moins un des modules qui le compose est transitoire.

Protection : un module peut être protégé par un mot de passe, et la protection s'active et se désactive par la case à cocher "module protégé". Depuis la version V6.04, un métamodule peut également être protégé.

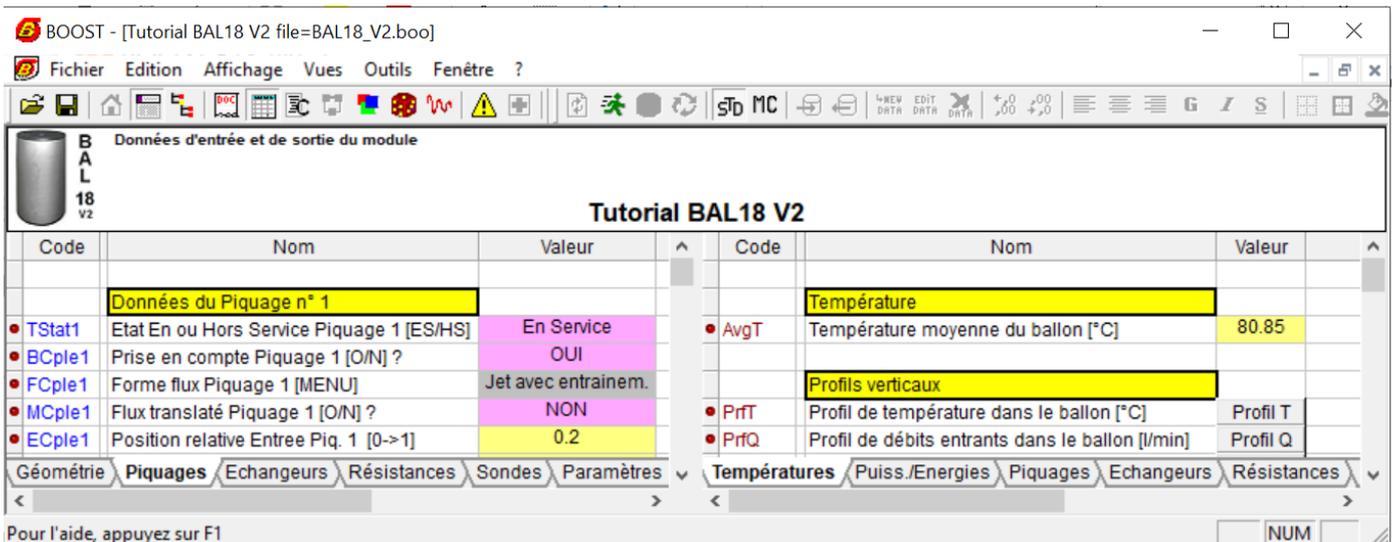
La protection d'un module interdit l'accès au code source, la modification du synopsis et de toute donnée qui entrainerait une re-compilation. La protection d'un métamodule interdit l'accès à tous ses modules, mais l'assemblage (vue "Données") reste affichable bien que non modifiable, ainsi que les données situées au niveau du métamodule (pour l'affichage de résultats, en particulier dans la vue "Calculs transitoires").

En cas d'**oubli du mot de passe**, demander l'intervention du CETIAT.

### 2.2.2. Vue « Données »

Cette vue permet de gérer les entrées/sorties du module. Composée de deux tableaux spécialisés (gauche pour les entrées, droit pour les sorties), cette vue permet de :

1. Définir les données d'entrée et de sortie du module.
2. Réaliser des calculs « directs » ou « inverses » en stationnaire avec le module.
3. Effectuer des calculs d'incertitudes.
4. Mettre en forme l'affichage des données.

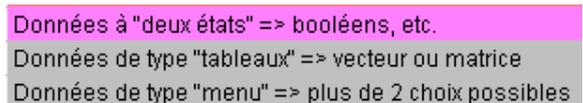


Les données sont présentées dans différents **pages** ou **onglets**.

[Voir plus loin pour plus de détails.](#)

#### Code couleur utilisé pour les données des modules BOOST

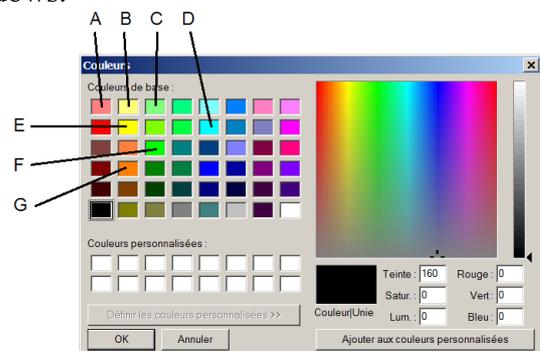
Les couleurs suivantes sont affectées automatiquement aux variables créées, en fonction de leur type.



Les couleurs suivantes sont à utiliser pour classifier les données d'entrée et de sortie des modules BOOST (il s'agit du code couleur employé au CETIAT).

Ces couleurs sont repérées à partir de l'écran classique Windows.

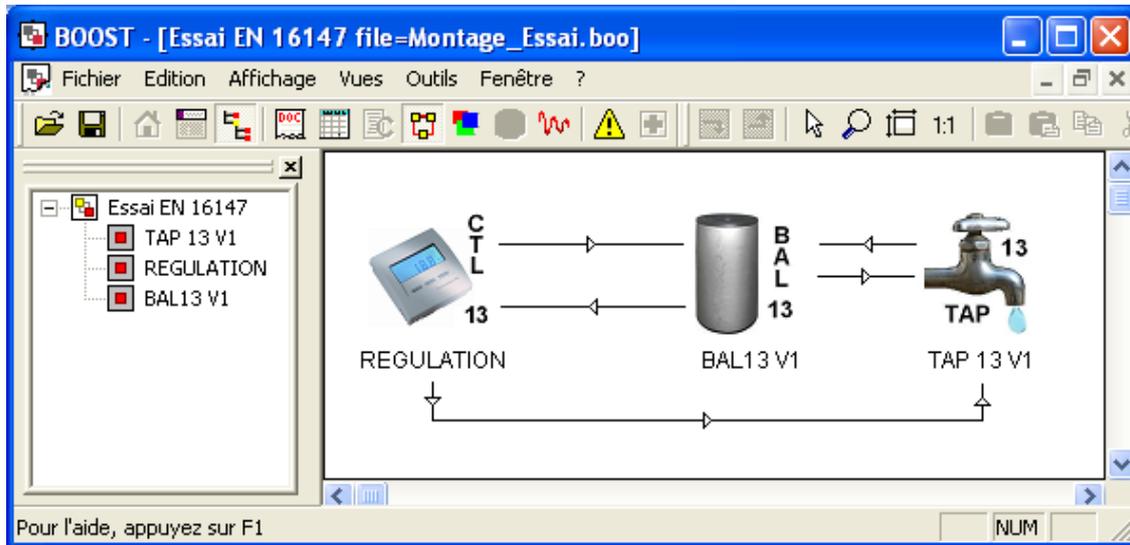
- A** : explications et commentaires
- B** : données d'entrée a priori non reliées
- C** : données d'entrée a priori reliées
- D** : données de sortie, résultats intermédiaires
- E** : titre de groupe de données
- F** : données de sortie, résultats essentiels
- G** : données de sortie, résultats de bilan



### 2.2.3. Vue « Connexions »

Cette vue permet de gérer les modules qui composent un métamodule.

Un **métamodule** est un assemblage de modules, pouvant être eux-mêmes des métamodules, et qui échangent des données par l'intermédiaire de **connexions**. Les métamodules n'ont pas de données propres, mais héritent de celles de leurs modules. L'héritage n'est pas automatique : les données visibles depuis le métamodule sont à définir par l'utilisateur.



Ainsi la vue « Connexions » assure une visualisation graphique des connexions entre modules pour :

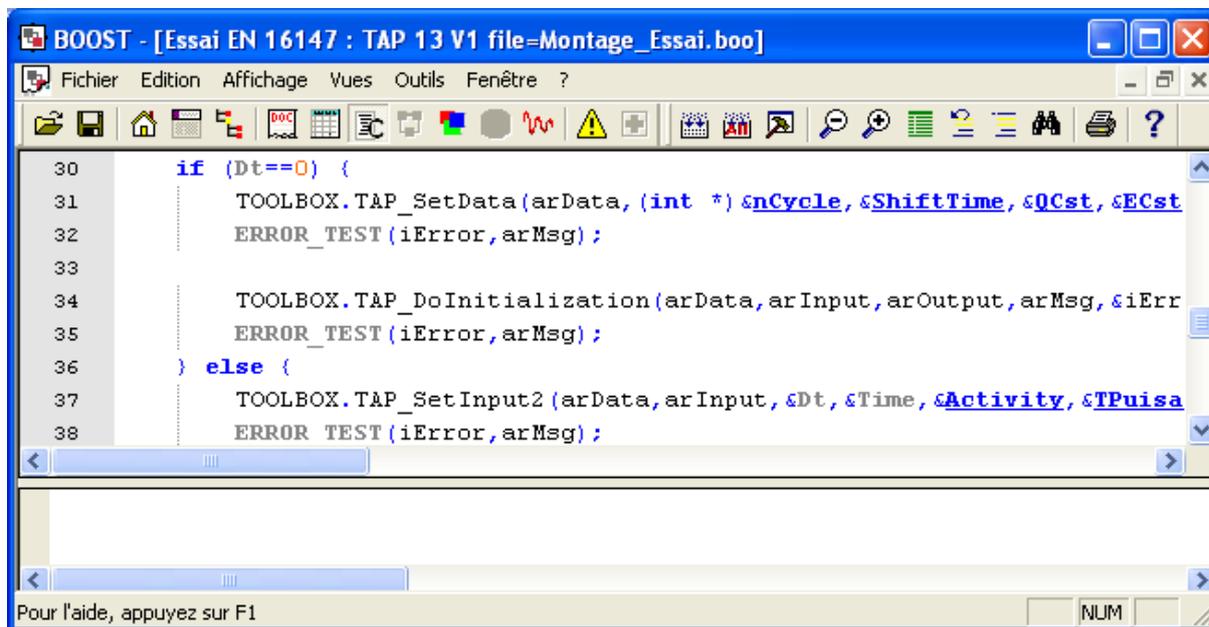
1. Créer, importer ou exporter un module.
2. Créer ou éditer une connexion.

Dans la vue « Connexions », les modules sont représentés par leur icône définie dans la fiche descriptive : un double-clic sur cette icône permet de charger la vue « Connexion » (si méta-module) ou « Données » (si module) associée.

[Voir plus loin pour plus de détails.](#)

## 2.2.4. Vue « Source » :

Cette vue permet la génération du programme pour le module. Un programme est écrit en C, et BOOST fait appel au compilateur pour le compiler.



```
30     if (Dt==0) {
31         TOOLBOX.TAP_SetData(arData, (int *) &nCycle, &ShiftTime, &QCst, &ECst
32         ERROR_TEST(iError, arMsg);
33
34         TOOLBOX.TAP_DoInitialization(arData, arInput, arOutput, arMsg, &iErr
35         ERROR_TEST(iError, arMsg);
36     } else {
37         TOOLBOX.TAP_SetInput2(arData, arInput, &Dt, &Time, &Activity, &TPuisa
38         ERROR TEST(iError, arMsg);
```

Une partie de la programmation du module est réalisée par BOOST :

1. Récupération des données d'entrée et exportation des données de sortie.
2. Interfaçage avec les bibliothèques externes.

La zone de texte permet l'écriture du programme. Une colorisation syntaxique des mots-clés du C est effectuée. Le nom d'une variable d'**entrée** apparaît en gras et **bleu**, celui d'une variable de **sortie** en gras et **rouge**.

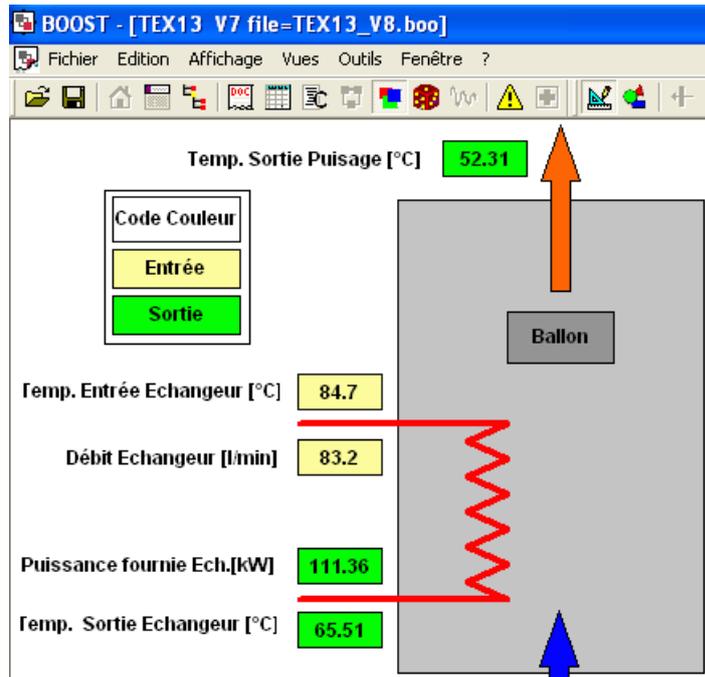
[Voir plus loin pour plus de détails.](#)

### 2.2.5. Vue « Synopsis »

Cette vue permet la représentation graphique d'un module selon une présentation définie par l'utilisateur.

L'affichage se fait à l'aide de primitives géométriques ou d'images.

Il est possible d'afficher les données d'entrée-sortie et de les modifier.



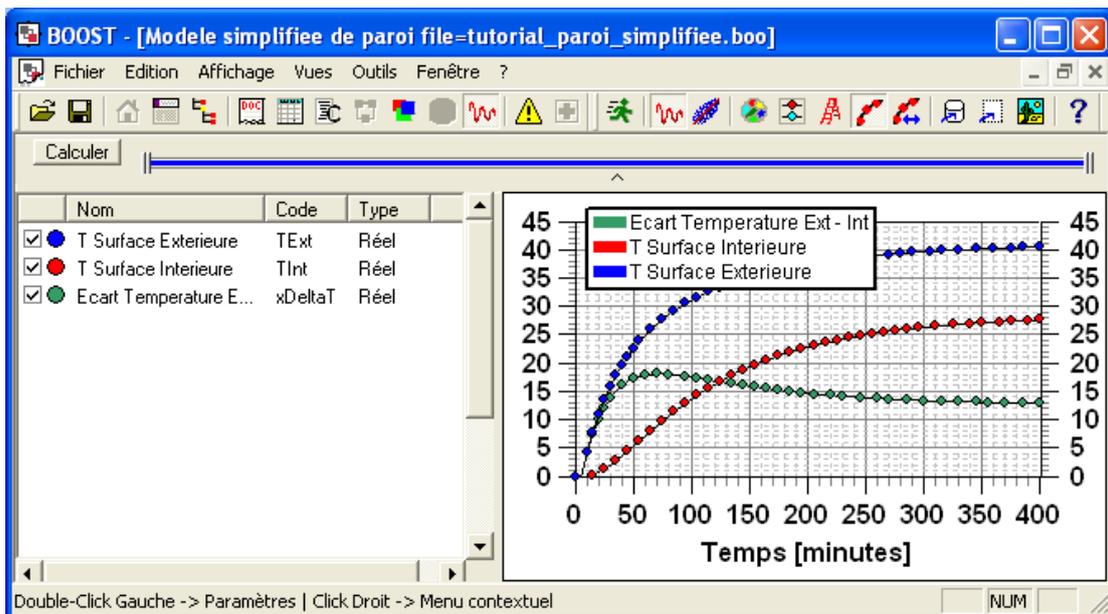
Pour ajouter un élément graphique, cliquer une fois sur la zone de dessin, puis sur le bouton présentant une équerre. Ensuite sélectionner les éléments graphiques à ajouter, et les disposer à la souris.

[Voir plus loin pour plus de détails.](#)

### 2.2.6. Vue « Calculs Transitoires »

Cette vue permet le calcul d'une donnée de sortie en fonction du temps.

Par exemple, dans le cas du modèle simplifié de paroi présenté en exemple, le tracé des deux températures de surface est présenté sur l'écran suivant :



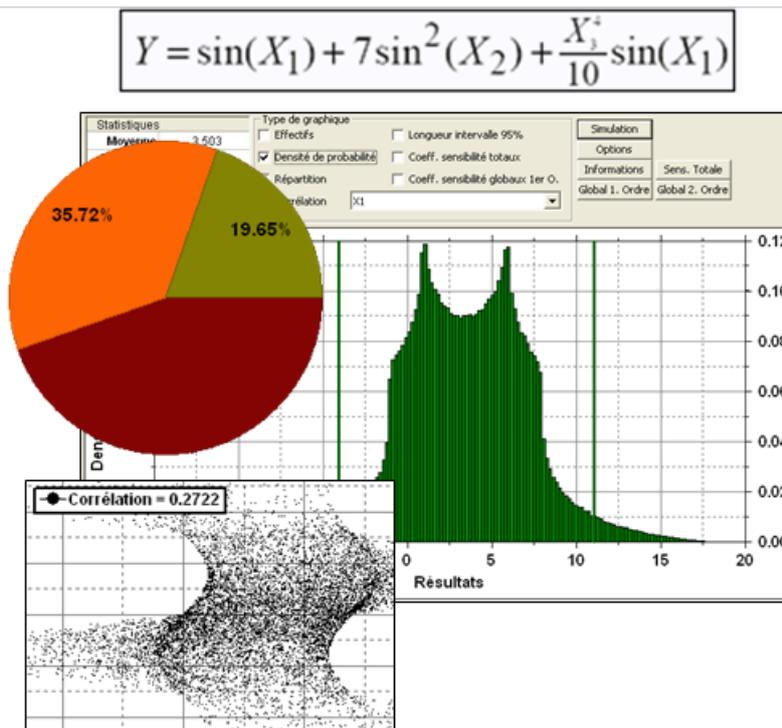
[Voir plus loin pour plus de détails.](#)

### 2.2.7. Vue « Calculs Monte-Carlo »

Dans une vue « Monte-Carlo » sont gérées les liens entre variables aléatoires d'entrée ( $X_i$ ) et variables aléatoires de sortie  $Y_i$ .

Elle permet de sélectionner les types et paramètres des distributions associées au variables d'entrée, de piloter les tirages Monte-Carlo (jusqu'à  $10^{+7}$ ) et de visualiser les variables de sortie selon diverses représentations (camemberts, histogrammes, nuages de points, etc.).

[Voir plus loin pour plus de détails.](#)



### 2.3. Création d'un nouveau document (module)

Un nouveau document se crée avec le menu « Fichier\Nouveau ».

Le formulaire de création est le suivant :

**Formulaire de création d'un module**

Choix des références du module

Nom:

Auteur:

Société:

Choix du type de module

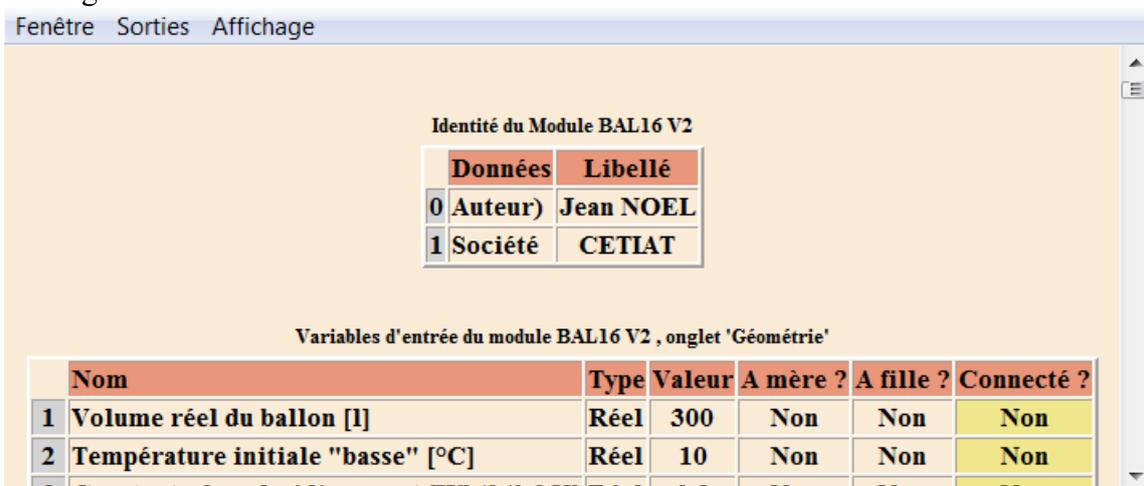
Module permanent (calculs "stationnaires" + "incertitudes")

Module transitoire (calculs "instationnaires")

MétaModule (regroupement de modules)

## 2.4. L'écran d'affichage d'une vue hiérarchique d'un métamodule

L'action sur un bouton  affiche un compte-rendu du métamodule sous une forme hiérarchique, comme illustré sur la figure ci-dessous.



Identité du Module BAL16 V2

	Données	Libellé
0	Auteur)	Jean NOEL
1	Société	CETIAT

Variables d'entrée du module BAL16 V2 , onglet 'Géométrie'

	Nom	Type	Valeur	A mère ?	A fille ?	Connecté ?
1	Volume réel du ballon [l]	Réel	300	Non	Non	Non
2	Température initiale "basse" [°C]	Réel	10	Non	Non	Non
3	Constante de transfert thermique [W/m².K]	Réel	0.2	Non	Non	Non

Le bouton d'affichage est disponible dans la vue "Données" et dans la vue "Monte Carlo" (avec dans ce cas un affichage des données propres aux distributions et à leur paramètres). Dans la vue "Données", pour que le bouton soit accessible, il faut avoir cliqué au préalable sur une cellule du tableur.

Le menu "**Fenêtre**" permet d'exporter les données affichées dans un fichier au format HTML ou au format ASCII (texte), pour une relecture ultérieure sous Word ou Excel.

Le menu "**Sorties**" permet d'afficher tout ou partie de l'arborescence du métamodule.

Le menu "**Affichage**" permet de modifier la police et les couleurs de l'affichage.

### 3. Utilisation des vues

#### 3.1. Vue « donnée »

##### 3.1.1. Les différents types de données

Les types de données gérées par le logiciel sont listés dans le tableau suivant.

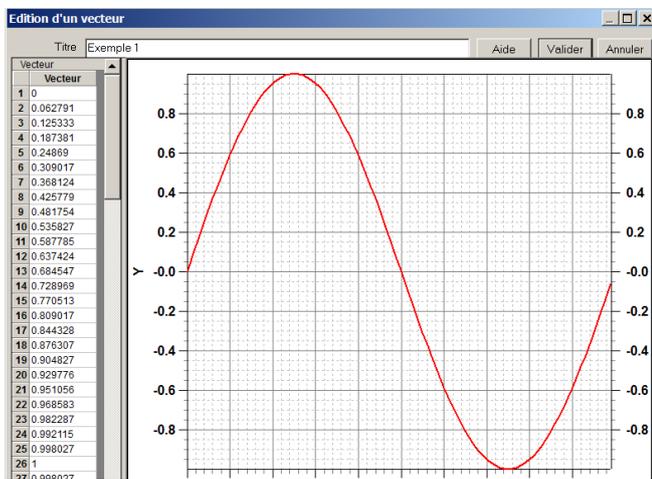
Type	Définition / Déclaration	Paramètres	Exemple de code source
Réel	Nombre décimal <b>double</b>	Valeur par défaut, Min, Max	<pre>// x donnée d'entrée // y donnée de sortie y = x*x;</pre>
Entier	Nombre entier <b>int</b>	Valeur par défaut, Min, Max	<pre>int i; // N donnée d'entrée de type entier // y donnée de sortie de type réel y = 0; for (i=0; i&lt;N; i++)     y = y+1;</pre>
Booléen	Donnée prenant la valeur 1 ou 0 (Vrai ou faux)  BOOL		<pre>// y donnée de sortie de type réel // bON donnée d'entrée de type booléen if (bON)     y = 1; else     y = 2;</pre> <p>Le texte correspondant aux deux états est défini à la création de la donnée, peut être modifié par l'utilisateur.</p>
String	Chaîne de caractères	Struct { char* value; int sizemax; }	<p>Une chaîne de caractères peut contenir au plus 'sizemax' caractères. Exemple de manipulations, sans vérification du dimensionnement : strecpy(Y1.value,X1.value) : copie de X1 dans Y1 strcat(Y1.value,X1.value) : ajout de X1 à la fin de Y1 A la création, une chaîne de caractères peut être "simple" (saisie directe d'un texte par double-click) ou "fichier" (saisie d'un nom de fichier à l'aide du sélecteur de fichier).</p>
Vecteur réels simples	Tableaux de réels à une valeur	Struct { int size; int sizemax; value[]; }	Ce tableau correspond à un vecteur à pas constant.
Vecteur réels doubles	Tableaux de réels à deux valeurs	Struct { int size; int sizemax; X[], Y[]; }	Ce tableau correspond à un vecteur à pas variable.
Menu	Pour sélectionner un menu il faut double cliquer dans la colonne "Valeur" de la donnée et sélectionner le menu désiré.		<p>Un menu peut contenir au maximum 20 libellés, définis à la création de la donnée. En pratique, une donnée Menu est type <i>int</i>. Le module reçoit un entier définissant l'index de la valeur sélectionnée par l'utilisateur. Pour la clarté du programme, nous conseillons de définir une énumération de tous les index du menu (dans le même ordre que la liste des index au moment de la création de la variable).</p> <pre>4 enum Gaz{G20,G21,G31,G231};</pre> <p>La variable (ici Gaz) peut ensuite être utilisée pour des tests : par exemple au moyen d'une instruction <i>switch</i> :</p> <pre>20 switch (iGaz) { 21     case G20: gCH4 = 100; break; 22     case G21: gCH4 = 87; gC3H8 = 13; break; 23     case G31: gC3H8 = 100; break; 24     case G231: gCH4 = 85; gN2 = 15; break; 25 }</pre>

Un exemple de tableaux est le suivant, avec l'affichage de la définition des variables et du code correspondant, permettant l'affichage de sinusôides.

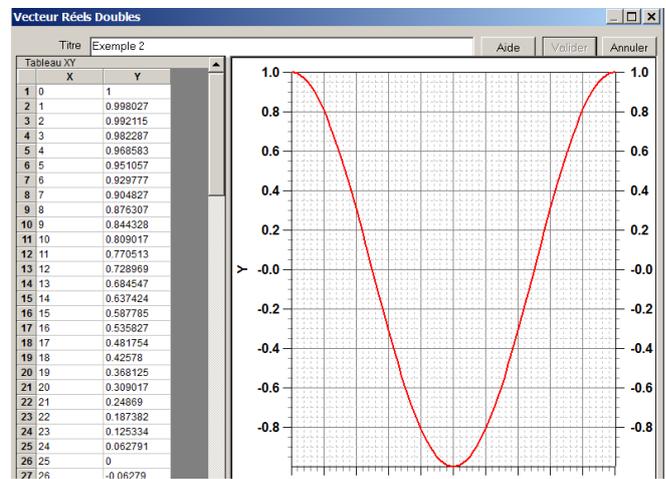
Code	Nom	Valeur
VectSimple	Vecteur Réels Simples	Exemple 1
VectDouble	Vecteur Réels Doubles	Exemple 2

```
int i;
// Tableau de réels simples
VectSimple.size = VectSimple.sizemax;
for (i=0; i<VectSimple.size; i++) {
    VectSimple.value[i] = sin(2*3.141592*i/100);
}
// Tableau de réels doubles
VectDouble.size = VectDouble.sizemax;
for (i=0; i<VectDouble.size; i++) {
    VectDouble.X[i] = i;
    VectDouble.Y[i] = cos(2*3.141592*i/100);
}
```

Les figures suivantes présentent l'affichage des valeurs des 2 types de vecteurs.



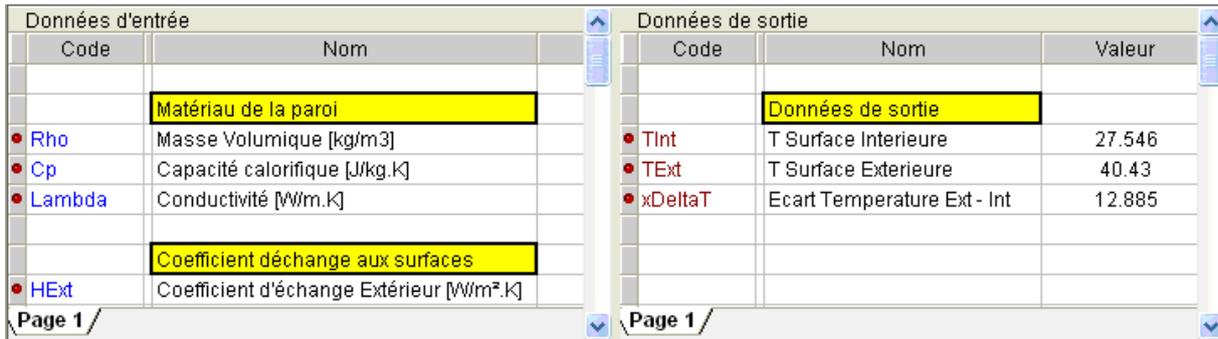
Tracé du vecteur "exemple" de réels simples



Tracé du vecteur "exemple" de réels doubles

Particularité du compilateur GCC : il est nécessaire que les fonctions présentes dans un module BOOST soient complètement définies en tête du programme (l'en-tête doit être présent avec le corps de la fonction). Avec le compilateur Borland, le corps peut être séparé de l'en-tête et placé à la fin du programme.

### 3.1.2. Présentation des deux tableurs



Les **lignes** contenant une donnée sont signalées par des puces de couleur :

Puce	Type de données
	Non connectée (défaut)
	Connectée : sa valeur est reçue ou transmise par à un autre module
et	La donnée figure également dans un module « parent » / « enfant »

Il est possible de dupliquer des variables par copier/coller (Ctrl+C/Ctrl+V).

### 3.1.3. Les colonnes des tableurs

Les **colonnes** du tableur listent les informations sur les variables :

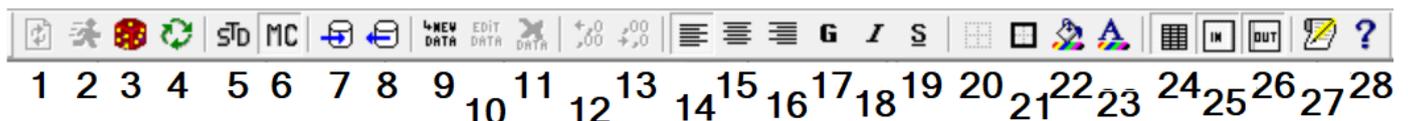
Code : nom utilisé dans la source du module.

Nom : description de la variable.

Valeur : la forme de l'affichage de cette cellule dépend du type de donnée.

Coeff a et b, type de la distribution : pour les modules stationnaires et le calcul statistique, ces 3 colonnes donnent les paramètres de la distribution associée à la variable.

### 3.1.4. La barre de boutons



- 1-2 Mise à jour des données : lancement d'un calcul en permanent (1) ou en transitoire (2) pour rafraîchir les valeurs des données de sortie, lancement d'une simulation Monte-Carlo à partir des données de l'écran (3) ou à partir de données lues (et écrites) dans un fichier (4).
- 5-6 Passage en mode Standard (5) ou Monte Carlo (6) sur les données de cet écran.
- 7-8 Exporter (7) ou importer (8) les données vers ou à partir d'un fichier.
- 9-11 Créer (9), éditer (10), supprimer (11) une donnée.
- 12-13 Augmenter (1) / Diminuer (2) d'une décimale l'affichage de la valeur d'une donnée de type réel.
- 14-16 Aligner le texte sur la gauche (14), le centre (15) ou la droite (16) de la cellule.
- 17-19 Mettre le texte de la cellule en gras (17), en italique (18) ou en souligné (19).
- 20-21 Supprimer (20) ou définir (21) les bordures de la cellule.
- 22-23 Modifier la couleur de fond de la cellule (22) ou la couleur de la police (23).
- 24 Afficher ou masquer le quadrillage des cellules.
- 25-26 Afficher ou masquer le tableur de gauche ou de droite.
- 27 Afficher un rapport synthétique sur les variables du module ou du métamodule.
- 28 Une aide en ligne est prévue à terme.

### 3.1.5. La barre des pages (vues « Données » et « Synopsis »)



Une barre de pages est située au bas de l'écran et permet la gestion des pages. Une barre de pages figure également sur la vue « Synopsis ».

Un click droit sur un libellé fait afficher le menu de gestion suivant. Un click gauche fait permet de modifier le libellé.



### 3.1.6. Gestion des données

La création d'une donnée n'est possible que dans l'édition développeur. L'ajout ou la suppression d'une donnée nécessite de recompiler le module.

Une ligne du tableur ne peut contenir qu'une seule donnée. La position des données dans le tableur est libre. Les données peuvent être déplacées ultérieurement.

#### Création d'une donnée

Cas d'un module, après sélection d'une cellule, soit par :

**Bouton 9** de la barre d'outils.

**Clic droit** et dans le menu contextuel : « Donnée »->« Insérer ». La boîte de dialogue qui s'ouvre permet de choisir : le **type** de la donnée, un **texte** décrivant la donnée (modifiable depuis le tableur), le **nom** de la donnée utilisé dans le programme source, des **paramètres** spécifiques au type de donnée choisi.

Cas d'un méta-module : il ne s'agit ici pas d'une création, mais d'une récupération d'une donnée d'un de ses modules. Le processus initial est le même, mais dans la boîte de dialogue, il faut sélectionner le module dont on souhaite récupérer une donnée (sélecteur de modules à gauche), puis sélectionner une donnée dans la liste de droite.

Suppression d'une donnée : par sélection d'une donnée (ligne du tableur) et soit :

**Bouton 11** de la barre d'outils.

**Clic droit** et dans le menu contextuel « Donnée »-> « Supprimer ».

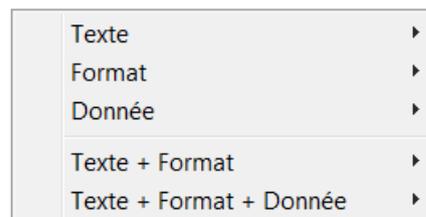
Déplacement d'une donnée : après sélection du cadre autour d'une ou plusieurs cellules, maintenir le bouton de la souris enfoncé et déplacer le cadre vers un emplacement vide.

Format d'affichage d'une donnée : l'affichage du contenu d'une cellule peut être modifié par la couleur du fond (bouton 22) ou du texte (bouton 23) ou par un encadrement (bouton 21). La suppression du format est possible.

Nombre de chiffres significatifs pour une valeur affichée : ce nombre est modifiable par les boutons 12 et 13, une fois la cellule sélectionnée. L'affichage des valeurs pour cette variable se fera ensuite avec ce nombre de chiffres significatifs, et cela dans toutes les vues.

### 3.1.7. Le remplissage des cellules du tableur

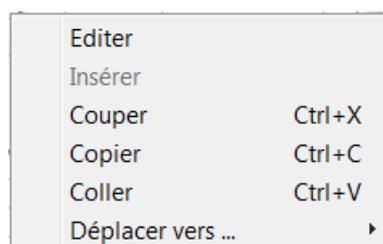
Le menu contextuel suivant s'affiche lorsque l'on utilise le bouton droit de la souris en ayant sélectionné une ou plusieurs cellules : il permet de gérer les données ou les textes placés dans ces cellules.



Le menu « **Format** » s'applique au traitement du format de toutes les cellules sélectionnées.

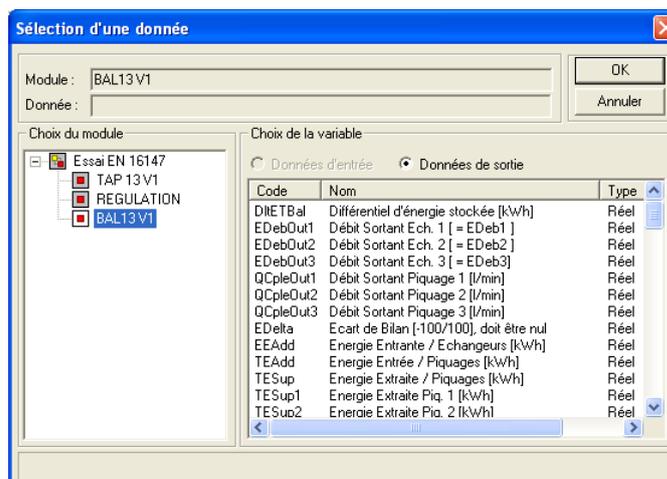
Le menu « **Donnée** » ne traite que les cellules contenant une donnée, tandis que le menu « **Texte** » ne s'applique qu'aux cellules ne contenant que du texte (texte en dehors de l'affichage des données).

Le sous-menu ci-contre apparaît pour chacun des items du menu précédent. Certaines actions peuvent être inaccessibles, en fonction du contexte.



**Insertion d'une donnée dans un metamodule** : il est possible de remonter une donnée D d'un module M1 ou d'un metamodule M2 au niveau d'un des metamodules M3 qui les contient. Cela signifie que la donnée D n'est plus seulement accessible au niveau de M1 ou M2, mais également au niveau de M3.

L'écran qui s'affiche après « Insérer » est le suivant : il permet de sélectionner une données d'entrée parmi les données d'entrées des modules et metamodules « enfants » du metamodule courant.



### 3.1.8. Le déplacement des cellules du tableur

On peut déplacer une ligne ou un bloc de lignes sur un emplacement vide, en sélectionnant un bloc de lignes, en plaçant la souris sur la bordure noire et en la déplaçant en maintenant le bouton appuyé.



### 3.1.9. L'augmentation du nombre de cellules du tableur

Le nombre de lignes peut être augmenté soit en insérant une nouvelle données dans les dernières lignes d'un tableur, soit en double-cliquant sur la ligne grisée apparaissant après la dernière ligne du tableur.

### 3.1.10. L'importation/Exportation des données

Les [boutons](#)   permettent d'exporter et d'importer les données de la vue vers un fichier au format "texte". Ils s'activent lorsque l'on clique sur l'un des deux tableurs (sinon les deux boutons sont inactifs).

Les seules données concernées sont les réels, les entiers, les booléens et les menus.

NB : si la touche « **shift** » est maintenue appuyée pendant l'opération d'exportation dans la configuration « hors statistique », les données sont envoyées à la fin du fichier d'exportation.

#### 3.1.10.1. L'exportation des données hors statistique

Si le bouton  est activé, les données exportées se limitent aux valeurs liées aux variables.

L'exportation permet d'envoyer dans un fichier au format "texte" toutes les données du module, d'entrée ou de sortie selon que l'on a cliqué sur le tableur des entrées ou des sorties.

Le format d'exportation est le suivant.

Les données sont regroupées par onglets, avec la lettre '#' indiquant le début de ligne, la marquant comme un commentaire.

```
Version No Code N
650      No Code 100
#InputData(Tutorial BAL18 V2,Géométrie) No Code Label
300      Volu    Volume réel du ballon [l]
11       TIniL    Température initiale "basse" [°C]
          ○
          ○
          ○
#InputData(Tutorial BAL18 V2,Piquages) No Code Label
6        QCple1  Debit Entrant Piquage 1 [l/min]
0.2     ECple1  Position relative Entree Piq. 1 [0->1]
```

« Version » indique le numéro de version et « N » le nombre de tirages de la simulation Monte Carlo.

L'entête comporte l'indication "InputData" ou "OutputData" selon le type de donnée. L'exportation hors statistique fournit 3 colonnes : la **valeur**, le **code** et le **libellé**. Le code est utilisé pour l'importation, et le libellé sert d'information. Ce format est le même que pour une importation : un fichier d'exportation peut servir ultérieurement pour une importation.

L'exportation exporte toutes les données de type "nombre" du module, pour toutes les pages (ou onglets).

#### 3.1.10.2. L'exportation avec les statistiques

Si le bouton  est activé, les informations sur les calculs statistiques sont affichées sur les 2 tableurs de la vue des données (cf. figure suivante).

Code	Nom	Valeur	Coeff. a	Coeff. b	Coeff. p	Distribution		Code	Nom	Valeur	Moyenne	Ecart-Type	Min I95	Max I95	Etendue
X1	X1	2.847	-3.14159	3.14159	-	Rectangulaire		Y	Y	8.1312384	3.54851	3.61468	-4.20395	10.11993	14.32387
X2	X2	1.791	-3.14159	3.14159	-	Rectangulaire									
X3	X3	-2.523	-3.14159	3.14159	-	Rectangulaire									

Le tableur d'entrée présente les 3 paramètres de la distribution (utilisés ou non) et le nom de la distribution (pour modifier la distribution, il faut utiliser la vue "Monte Carlo" ou faire un click droit pour faire afficher le menu contextuel).

Le tableur de sortie présente la moyenne, l'écart-type, les bornes supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance, et l'étendue (ces valeurs sont identiques à celles figurant dans les ["informations statistiques"](#) de la vue "Monte Carlo").

L'exportation à partir du tableur d'entrée produit le fichier suivant.

```
Version No Code N
650      No Code 100
#InputData(Ishigami,Page 1)      No Code Label      Coeff. A      Coeff. B      Coeff. C      Distribution
1.23    X1      Entrée aléatoire 1      -3.14159      3.14159 -      Rectangulaire      Unused
0.2     X2      Entrée aléatoire 2      -3.14159      3.14159 -      Rectangulaire      Unused
-1.48   X3      Entrée aléatoire 3      -3.14159      3.14159 -      Rectangulaire      Unused
7       A       Coefficient A 7      -      -      Constante      Unused
0.1     B       Coefficient B 0.1      -      -      Constante      Unused
#####
```

L'exportation à partir du tableur de sortie produit le fichier suivant.

```
Version No Code N
650      No Code 1000000
#OutputData(Ishigami,Page 1)      No Code Label      Avg      StD      I95Low      I95High      I95Width
1.26    Y1      Entrée aléatoire 1      3.50185      3.72146      -4.04722      11.05669      15.10391      Unused
#####
```

Une dernière valeur "Unused" est ajoutée pour des raisons de compatibilité avec une autre fonctionnalité.

### 3.1.10.3. L'importation

L'importation se réalise avec un fichier au format identique à celui d'une exportation. Elle ne peut se faire que pour alimenter des données du tableur d'entrée.

La **valeur** doit être un nombre (entier ou réel). Le **code** est une chaîne de caractères, correspondant à au code d'une variable du module (si le code lu est inconnu dans le module, aucune opération n'est effectuée pour cette ligne). Si la chaîne de caractères du code est "No Code", la ligne est ignorée. Le **libellé** n'est pas utilisé, mais doit être présent. Le séparateur des différentes données est la tabulation.

Un fichier d'importation doit contenir au minimum deux données par ligne (valeur et code), et les suivantes sont facultatives et ne sont utilisées dans leur ordre d'apparition que si elles sont présentes.

Dans le cas où le fichier d'importation contient des données d'un module présentes sur plusieurs pages distinctes, un message permet de choisir entre l'importation pour toutes les pages ou seulement pour la page courante.

En plus de la valeur, l'importation réalise le remplacement des 3 paramètres de la distribution (ces 3 paramètres doivent être des nombres), ainsi que celle-ci (le mot-clé est une chaîne de caractères, identique aux items du menu de choix de la vue "Monte Carlo").

### 3.1.11. La simulation Monte Carlo en boucle à partir de données importées

Le bouton  permet de lancer une opération de lecture/simulation/écriture de simulations Monte Carlo, à partir de données d'entrée lues en boucle dans un fichier « texte ».

Les simulations sont effectuées en boucle, à chaque lecture d'un jeu de données, et les résultats sont envoyés en fin du fichier de sortie, dont le nom dérive du nom du fichier d'entrée avec l'ajout de « \_output ».

## 3.2. Vue « Connexions »

### 3.2.1. Présentation de la vue

Cette vue permet de gérer les modules d'un metamodule et leurs connexions.

Pour sélectionner un module, il faut cliquer sur son icône avec la souris et éventuellement le déplacer en maintenant le bouton enfoncé.

Pour sélectionner d'autres modules, il faut cliquer avec la souris en maintenant la touche « shift » enfoncée (touche « flèche vers le haut »). La sélection de tous les modules s'effectue avec la combinaison de touches CTRL+A.

### 3.2.2. La barre de boutons de gestion des connexions entre modules



1-2 Afficher les modules du module sélectionné (1) ou ceux du module « parent » (2).

2-6 Gérer les tailles d'affichage.

7-10 Copier (7) dans le presse-papier, copier à partir du presse-papier (8), dupliquer (9) ou supprimer (10) l'élément sélectionné.

11-12 Envoyer le copie d'écran du schéma des modules dans le presse-papier (11) ou afficher l'ordre des bouclages (12).

13-14 Insérer un module par création (13) ou par lecture sur fichier (14).

15 Relier deux modules par une connexion.

16-18 Exporter le module sélectionné dans un nouveau module (16), dans un metamodule (17) ou sur fichier (18).

19 Exporter les données du module dans un fichier 'texte' (*fonctionnalité future*).

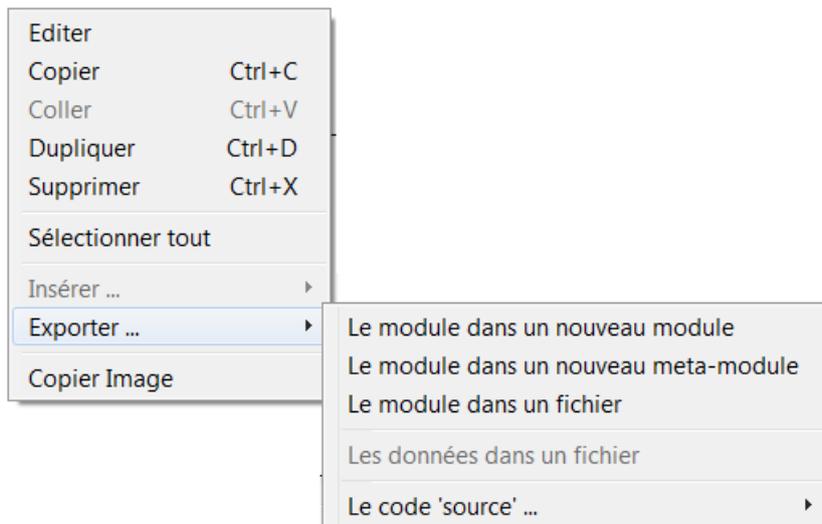
### 3.2.3. Définition d'une connexion

Une connexion ouvre un « canal d'échange orienté de données entre deux modules ».

Deux types de connexions sont définies : **connexion entre modules** et **connexion entre variables** (une connexion entre deux modules regroupe n connexions entre variables de ces deux modules). Dans une connexion entre variables, la valeur d'une **donnée de sortie** du **module amont** est utilisée comme **donnée d'entrée** du **module aval**.

### 3.2.4. Menu contextuel de l’affichage des modules

Ce menu s’affiche par clic-droit après sélection d’un module, et permet de :



- « **Copier** » (Ctrl-C) le ou les modules sélectionnés dans le presse-papier, et ensuite de les « **Coller** » (Ctrl-V), de les « **Supprimer** » (Ctrl-X) ou de les « **Dupliquer** » (Ctrl-D).
- « **Sélectionner** » tous les modules (Ctrl-A).
- « **Insérer** » un module.
- « **Exporter** » le ou les modules sélectionnés dans un nouveau module, un nouveau métamodule ou un fichier.
- « **Copier l’image** », c’est-à-dire la zone de dessin des modules et connexions dans le presse-papier (pour une récupération sous Microsoft Paint par exemple).

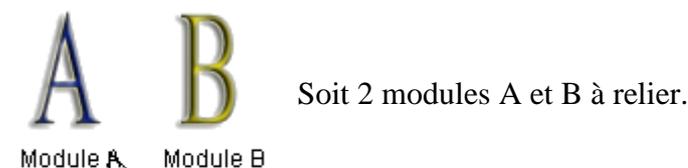
### 3.2.5. Représentation des connexions

Les connexions sont symbolisées par un trait portant une flèche et reliant deux modules :

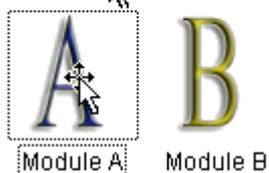
Graphisme	Type de connexion
	Connexion normale
	Connexion vide (sa liste de variables est vide, voir « gestion d’une connexion entre variables »).

### 3.2.6. Gestion d'une connexion entre modules

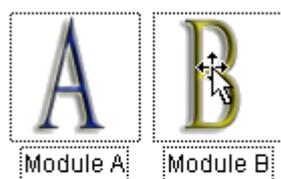
Pour ajouter une connexion entre deux modules :



Soit 2 modules A et B à relier.



Etape n°1 : sélectionner à la souris le module A (à noter que pour désélectionner un module, il suffit de cliquer sur un emplacement vide de l'écran).

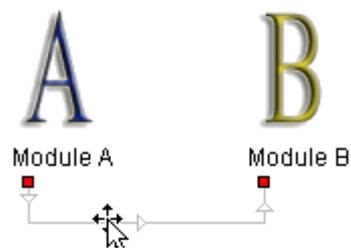


Etape n°2 : sélectionner le module B, EN MAINTENANT la touche « shift » enfoncée (flèche verticale sens vers le haut).

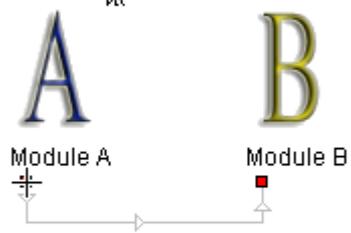


Etape n°3 : presser le bouton création d'une connexion (bouton n° 4).

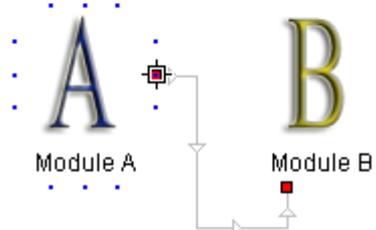
Pour déplacer une connexion entre deux modules :



Etape 1 : sélection à la souris (bouton gauche) de la connexion.



Etape 2 : sélection à la souris (bouton gauche) d'une extrémité de la connexion.



Etape 3 : déplacement de l'extrémité de la connexion (même opération sur l'autre extrémité).

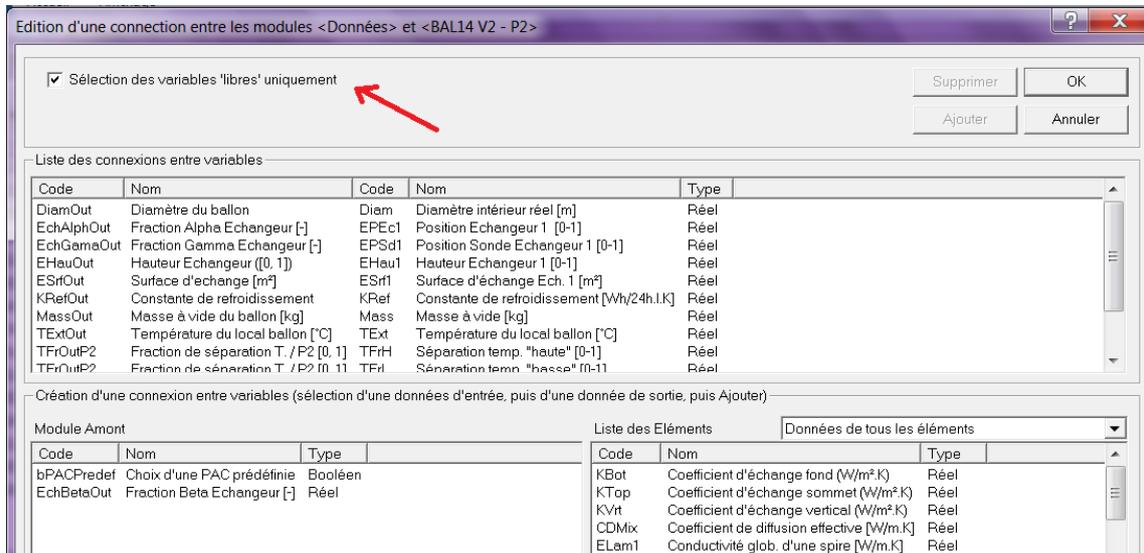
Le nombre de points d'ancrage sur un module est limité, mais il est possible de mettre plusieurs connexions sur un même point d'ancrage.

Le parcours de la connexion est défini automatiquement et n'est pas modifiable.

**NB** : la version V5.99 permet la ré-affectation d'une connexion à un autre module. Pour cela, il faut sélectionner une connexion, cliquer sur le carré rouge à déplacer, déplacer ce carré rouge sur un autre module en maintenant la touche Shift enfoncée.

### 3.2.7. Gestion d'une connexion entre variables

La gestion des connexions entre variables (dans une connexion entre modules) se fait dans la boîte de dialogue "*Edition d'une connexion*", affichée par double clic sur une connexion.



Pour ajouter une connexion : cliquer sur une donnée de sortie (liste « Module Aval ») puis sur une donnée d'entrée (liste « Module Amont ») et enfin le bouton « Ajouter ».

Pour supprimer une connexion, sélectionner une connexion dans la « liste des connexions entre variables » puis sur le bouton « Supprimer ».

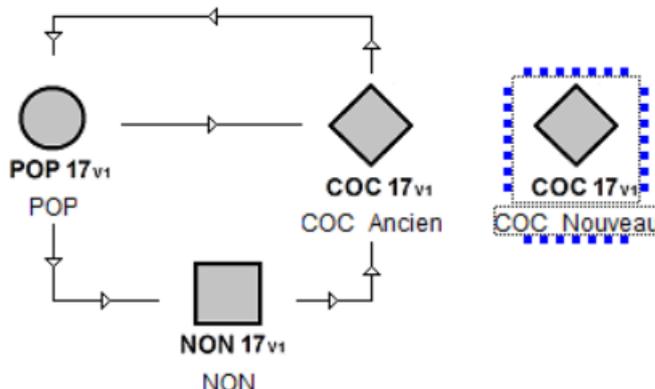
Pour faire afficher toutes les variables du module amont, y compris celles déjà reliées : utiliser la case à cocher identifiée par la flèche rouge.

Règles : une donnée d'entrée ne peut être connectée qu'une seule fois, tandis qu'une donnée de sortie peut être connectée plusieurs fois.

### 3.2.1. Remplacement d'un module par un autre

Cette fonctionnalité automatise le remplacement manuel et fastidieux d'un module par un module identique ou similaire (par exemple le remplacement de d'un module X1 par un module X2 représentant le même modèle, mais dans une version plus récente).

La figure ci-contre illustre le remplacement d'une version de COC "ancien" par la version "nouveau" de ce même module.



Le mode opératoire est le suivant :

- Placer le module "nouveau" dans le presse-papier (menu "copier" ou Ctl-C).
- Après un clic sur le module "ancien", faire apparaître le menu contextuel par un clic droit
- Sélection l'item "Remplacer" du menu contextuel, puis "Le module par ..." et enfin "Le module du presse-papier".



- Le remplacement se fait ensuite automatiquement, avec un affichage en différé des différentes étapes.

Le remplacement concerne les valeurs de toutes les variables du module "ancien" (celles-ci sont désormais celles du module "nouveau"). Mais il ne concerne pas le **nom** (le nom de l'ancien" module est conservé), les **connexions** (celles-ci sont reconnectées sur le "nouveau" module), les **variables affichées dans la vues des calculs transitoires** (qui sont ré-affichées)

### 3.3. Vue « Source »

#### 3.3.1. Règles de programmation

Le programme d'un module utilise le langage C et en reprend les règles.  
BOOST effectue une colorisation des variables utilisées dans le module.

**Bleu** : variable d'entrée

**Rouge** : variable de sortie

**Gris** : variable de temps (**Dt** est la variable du pas de temps et **Time** celle du temps).

Règle 1 : les fonctions doivent recevoir leurs arguments soit par copie, soit par pointeur, mais non par référence. Par exemple

double GetExpo( double X, double Y, double T); => **valide**

double GetExpo( double \*pX, double \*pY, double \*pT); => **valide**

double GetExpo( double &X, double &Y, double &T); => **invalide**

Règle 2 : il faut déclarer la variable de boucle en dehors de la boucle.

int i; for (i=0; i<9; i++) => **valide**

for (int i=0; i<9; i++) => **invalide**

Règle 3 : les variables locales doivent être déclarées en début de programme, avant une instruction.

#### 3.3.2. Barre d'outils



- 1 **Compilation du module courant** (ou touche F5).
- 2 **Compilation de tous les modules** (attention : peut faire « planter » le logiciel).
- 3 Sélection des **librairies**.
- 4-5 Diminution (4) ou augmentation (5) de la **taille de la police**.
- 6 Ajout d'un **commentaire** automatique en tête du code source.
- 7-8 Enlève (7) ou ajoute (8) les caractères (« // ») qui **commentent la ligne**.
- 9 **Recherche** d'une chaîne de caractères dans le texte.
- 10 Envoi à l'**impression** du texte.

#### 3.3.3. La compilation

La compilation du module se fait avec le bouton n°1 de la barre d'outils. Les informations sur la compilation sont affichées dans la fenêtre en dessous de la zone de texte de l'éditeur.

Plusieurs types d'erreurs sont susceptibles de se produire lors de la compilation d'un module.

Une erreur de syntaxe dans le code source -> corriger le programme.

Une librairie (DLL) manquante -> installer la librairie.

Ouverture du module.DLL impossible -> fermer le module puis le ré-ouvrir.

### 3.4. Vue « Synopsis »

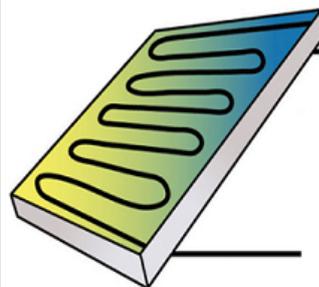
#### 3.4.1. Présentation

Cette vue permet la représentation graphique d'un module. L'affichage se fait à l'aide de primitives géométriques ou d'images. Il est possible d'afficher les données d'entrées-sorties et de les modifier.

La figure ci-contre présente le synopsis de saisie des données d'entrée du module solaire CSE10.

**Caractéristiques du capteur solaire**

	Valeur	Unité
Surface capteur	5	m <sup>2</sup>
Rendement optique	0.8	
Coeff de pertes du 1er ordre	3.5	W/m <sup>2</sup> K
Coeff de pertes du 2nd ordre	0.01	W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>
Inclinaison de la surface	45	[0-90°]
Azimut	0	



#### 3.4.2. Barre d'outils

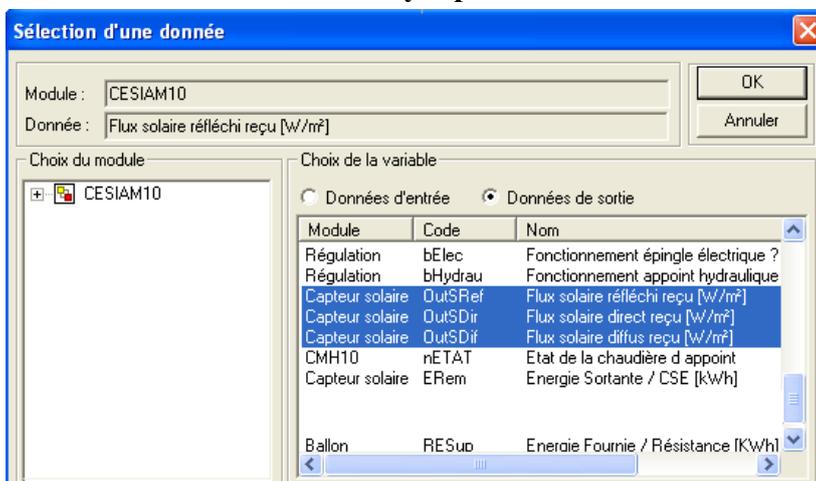


- 1 Activation ou désactivation du mode création.
- 2 Affichage du menu d'insertion d'une primitive graphique (texte, ligne, rectangle, ellipse, flèche, image, cote) ou d'une donnée BOOST.
- 3-14 Positionnement des primitives graphiques.

#### 3.4.3. Exemple d'insertion d'une variable dans le synopsis

Après avoir activé le mode création (bouton 1), l'ajout d'une donnée dans le synopsis se fait par le bouton 8 après sélection dans le menu.

La fenêtre suivante apparaît alors :



Cette fenêtre permet de sélectionner la ou les variables d'entrée ou de sortie du métamodule à ajouter au synopsis.

Le format (police, ...) des nouvelles variables peut alors être modifié (clic droit sur la ou les variables) :

*Bilan énergétique*

	Valeur	Unité
Energie initiale stockée ballon	10.09	kWh
Energie fournie échangeur solaire	18.6	kWh
Energie fournie échangeur appoint	13	kWh
Energie fournie résistance	0	kWh
Energie puisée	19.1	kWh
Energie perdue par parois ballon	2.5	kWh

Flux solaire réfléchi reçu [W/m²]	0	
Flux solaire direct reçu [W/m²]	0	
Flux solaire diffus reçu [W/m²]	0	

- Couper
- Copier
- Coller
- Collage spécial
- Groupe ▶
- Ordre ▶
- Format

### 3.5. Vue « *Calculs Transitoires* »

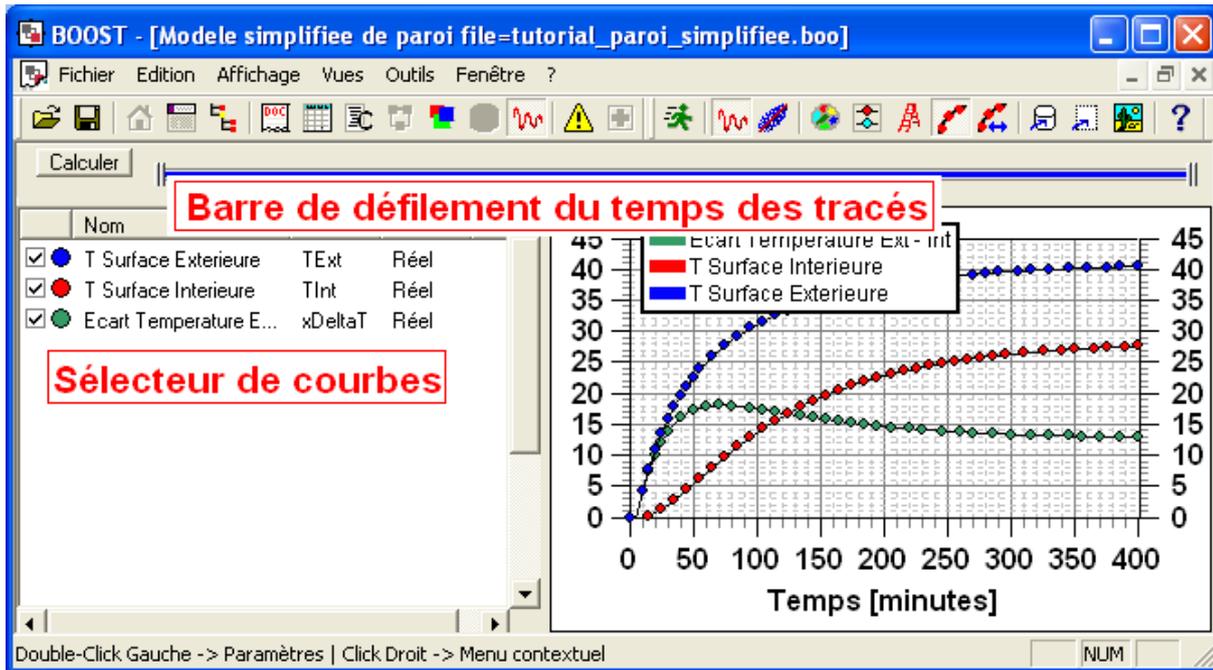
#### 3.5.1. La barre de boutons de gestion des tracés d'un calcul transitoire



- 1 Lancer le **calcul**.
- 2-3 Afficher le tracé des **courbes d'évolution en temps** (2) ou des **corrélations** (3).
- 4-8 Ré-initialiser les **couleurs des tracés** (4), afficher la **légende** (5), modifier l'**échelle** (6), les **points** sur les tracés (7), afficher l'écran de sélection de la plage des tracés (8).
- 9-11 Envoyer les **données de résultats sur fichier** (9) ou dans le **presse-papier** (10), envoyer une **copie d'écran dans le presse-papier** (11).

Les « corrélations » consistent à faire afficher sous forme d'un nuage de points, pour deux variables V1 et V2, les couples (V1(t),V2(t)) pour les différents temps t de calcul.

### 3.5.2. Les différentes parties de la vue « Calculs Transitoires »



La longueur de la **barre de défilement du temps des tracés** peut être fixée par la boîte de dialogue affichée par le bouton 8.

Un double-clic sur le tracé 2D fait s'afficher la boîte de dialogue pour les **paramètres d'affichage** (valeurs mini et maxi, libellé des axes).

Un click-droit sur la case à cocher associée à une variable permet de faire afficher les **fréquences des occurrences** de cette variable, avec ses informations statistiques.

Un **zoom** s'effectue par click gauche sur le tracé, en maintenant enfoncé le bouton Shift (touche « flèche vers le haut »), suivi de la saisie d'un rectangle pour la définition de la nouvelle zone à afficher. Le retour à la taille maximale s'effectue par double click gauche sur le tracé.

### 3.5.3. L'affichage des tracés dans la vue « Calculs Transitoires »

**Important** : les courbes à tracer sont déterminées pendant la phase de calcul (bouton 1) et correspondent uniquement à des variables présentes dans le module « racine ».

Pour **ajouter** une variable à tracer, placer la souris dans la liste, cliquer droit et choisir « Insérer » dans le menu contextuel pour faire afficher la fenêtre de sélection d'une variable.

Pour **supprimer** une variable, la sélectionner à la souris, puis clic-droit et choisir « Supprimer » dans le menu contextuel.

Pour faire **afficher effectivement** ou non une variable, utiliser les cases à cocher.

### 3.5.4. Les différents pas en temps

Dans l'écran qui apparaît au lancement du calcul, il est possible de définir le pas et la fin de la simulation, soit par sa durée, soit par le nombre d'itérations.

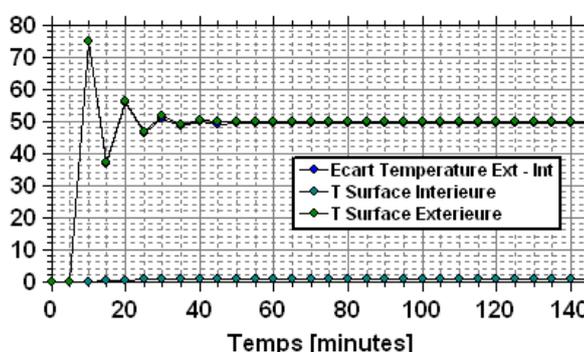
Pas de temps [s]	<input type="text" value="60"/>	
Nombre d'itérations	<input type="text" value="7200"/>	
Durée de la simulation	<input type="text" value="5"/>	Jour(s) ▼
Pas de sauvegarde [s]	<input type="text" value="3600"/>	<input type="text" value="60"/> ▼

Le pas de sauvegarde fixe la fréquence des enregistrements sur fichier.

Le **pas en temps de calcul** est une donnée à rentrer par l'utilisateur : le logiciel n'effectue pas les calculs en définissant un pas en temps optimal en fonction de la « raideur » du **système d'équations**.

**Dans certains cas, le pas en temps n'est pas adapté au problème à résoudre.**

Par exemple le tracé suivant est typique d'oscillations apparaissant dans le cas où le pas en temps est trop important.



### 3.5.5. L'exécution en pas à pas

L'écran de pilotage par défaut d'une simulation est celui de gauche, et ne permet pas de stopper l'exécution une fois lancée. L'écran de droite présente les boutons permettant une exécution pas à pas ou un arrêt en cours de calcul. Le passage de l'un à l'autre se fait par double-click droit sur cet écran, en maintenant la touche SHIFT enfoncée.

Calcul instationnaire

Pas de temps [s]	<input type="text" value="10"/>
Nombre d'itérations [-]	<input type="text" value="360"/>
Durée de la simulation [-]	<input type="text" value="1"/> Heure(s) ▼
Pas de sauvegarde [s]	<input type="text" value="10"/> <input type="text" value="1"/> ▼

Informations de calcul .....

Annuler Lancer

Ecran par défaut pour une exécution sans arrêt

Calcul instationnaire

Pas de temps [s]	<input type="text" value="10"/>
Nombre d'itérations [-]	<input type="text" value="360"/>
Durée de la simulation [-]	<input type="text" value="1"/> Heure(s) ▼
Pas de sauvegarde [s]	<input type="text" value="10"/> <input type="text" value="1"/> ▼

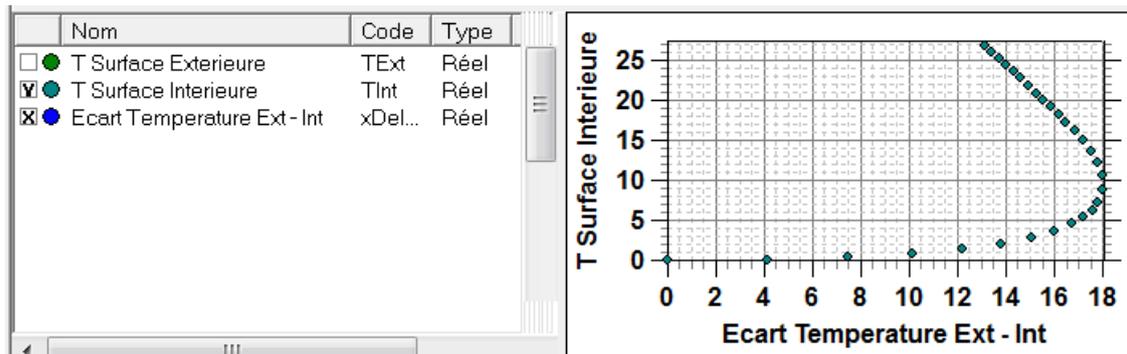
Informations de calcul .....

Lancer Suspendre Suivant Stopper Annuler Fermer

Ecran pour une exécution en pas à pas

### 3.5.6. L'affichage des "corrélations"

Les "corrélations" correspondent à l'affichage de 2 variables sous forme de nuages de points.



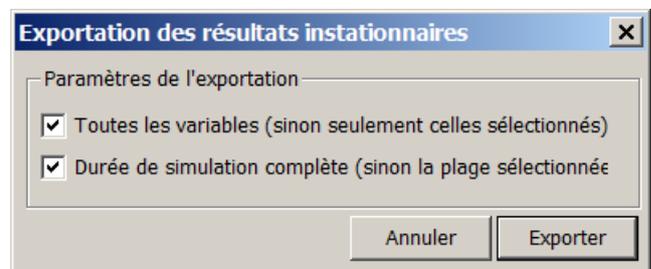
### 3.5.7. L'exportation des résultats

Il est possible d'exporter les résultats soit sur fichier soit vers le presse-papier.

**L'exportation vers le presse-papier** réalise l'exportation des valeurs affichées. Les valeurs affichées ne correspondent pas exactement aux valeurs figurant dans le fichier de résultats, d'une part parce le nombre de valeurs affichées est limité à 10000 (pour des raisons de mémoire), et d'autre part parce que, dans le cas d'un grand nombre de résultats, le temps associé à chaque valeur est un temps arrondi en fonction de l'échantillonnage (selon le ratio de 10000 au nombre total de valeurs de résultats) et que de plus ce temps dépend de l'échelle choisie (seconde, minute, heure, etc.). L'exportation vers le presse-papier n'est donc conseillée que lorsque le nombre de valeurs de résultats est inférieur à 10000.

**L'exportation dans un fichier** permet l'écriture dans un fichier de l'ensemble des valeurs de résultats.

L'exportation peut s'effectuer pour toutes les variables, ou seulement pour celles cochées dans la liste. De même, il est possible de n'exporter les valeurs pour les temps situés dans la plage d'affichage de l'écran (cf. écran ci-contre).



Dans tous les cas de figure, l'exportation se fait au format "texte" et consiste en une série de lignes, composées de colonnes (le nombre est égal au nombre de variables exportées, augmenté de 1, pour le temps), chaque ligne comprenant le temps dans la colonne de gauche, et les autres variables. Les valeurs sont séparées par le caractère de tabulation, ce qui permet de récupérer rapidement le fichier texte dans un tableur.

### 3.6. Vue « Monte-Carlo »

#### 3.6.1. Présentation générale

La méthode de « Monte Carlo » [10032] désigne toute méthode visant à calculer une valeur numérique en utilisant des procédés aléatoires.

#### 3.6.2. Présentation pour le domaine de la métrologie

En métrologie, la méthode de Monte-Carlo permet à la fois d'évaluer l'incertitude de mesure et d'estimer les coefficients de sensibilité [11041].

Une mesure physique est un phénomène aléatoire, dans le sens où on ne connaît pas la valeur absolue de la grandeur mesurée. Un ensemble de valeurs possibles sont obtenues si on répète la mesure pour cette grandeur, la notion de probabilité est donc associée à la grandeur à mesurer. Par conséquent, on ne peut faire qu'une estimation de cette grandeur, le résultat de mesure est une variable aléatoire à laquelle est associée une loi de probabilité.

Le terme '**mesurande**' s'applique à la grandeur que l'on veut mesurer. Le mesurande peut ne pas être directement mesuré, mais il dépend des autres grandeurs, soit de grandeurs provenant des autres mesures physiques, soit de paramètres importants obtenus autrement, etc.

On établit une relation mathématique, appelé **modèle de mesure** qui modélise le processus de mesure physique en reliant toutes les grandeurs intervenant dans cette mesure.

La grandeur à mesurer - le mesurande - est choisie comme sortie du modèle et est appelée la **grandeur de sortie**. Toutes les autres grandeurs intervenant dans le modèle sont des **grandeurs d'entrée** dont les propriétés doivent être prédéfinies afin d'estimer celles du mesurande.

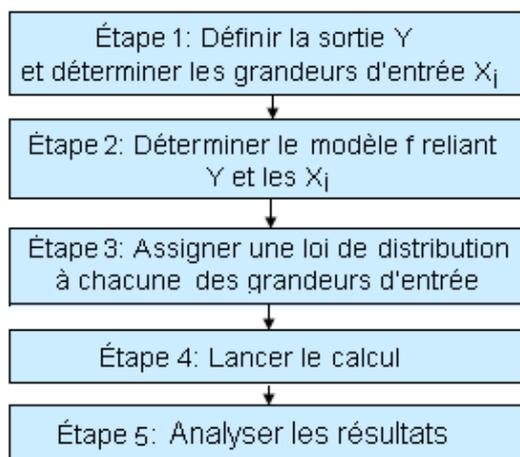
Le modèle de mesure peut être représenté par :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

où Y est la sortie du modèle et  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , sont les grandeurs d'entrée.

#### 3.6.3. Processus de calcul

La démarche générale pour estimer les propriétés statistiques de la grandeur de sortie est représentée par le schéma ci-contre.



### 3.6.4. Exemple

Pour illustrer cette méthode, on considère les 4 variables aléatoires d'entrée  $X_1, X_2, X_3, X_4$  reliées à la variable aléatoire de sortie  $Y$ .

$$Y = X_1 + X_2 + X_3 + X_4;$$

#### 3.6.4.1. Etape 1 : création des variables d'entrée et de sortie

La vue « **Données** » permet de créer la variable de sortie  $Y$  et les 4 variables aléatoires d'entrée  $X_1, X_2, X_3, X_4$  (voir le paragraphe "gestion des données")

Données d'entrée			Données de sortie		
Code	Nom	Valeur	Code	Nom	Valeur
	Variables d'entrée			Variables de sortie	
X1	X1	0	Y1	Y1	0
X2	X2	0			
X3	X3	0			
X4	X4	0			

#### 3.6.4.2. Etape 2 : création du code source

Dans la vue « **Source** » est défini le code du modèle en langage C.

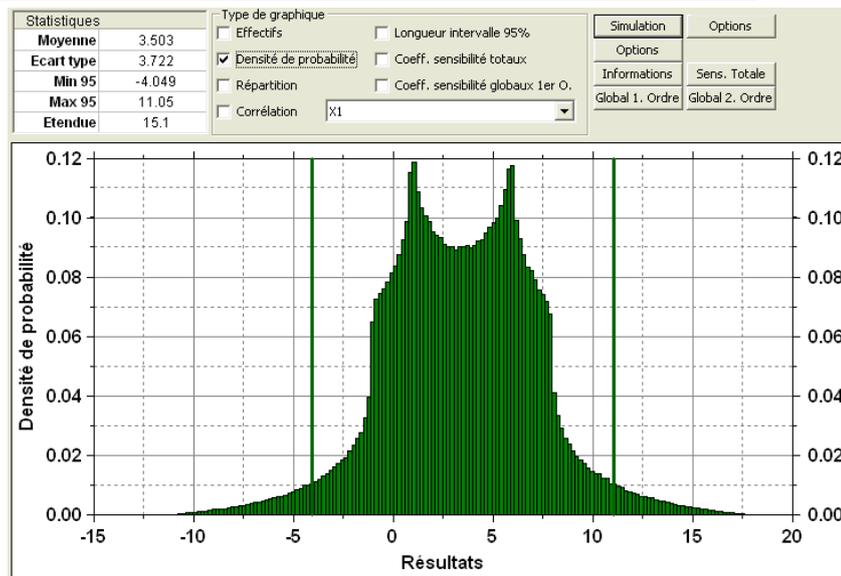
```

7
8 Begin_Module
9 {
10     Y = X1 + X2 + X3 + X4;
11 }
12 End_Module
13 NULL
    
```

Ce modèle relie la grandeur de sortie  $Y$  et les grandeurs d'entrée  $X_i$ .

#### 3.6.4.3. Etape 3 : association d'une loi de distribution aux variables d'entrée

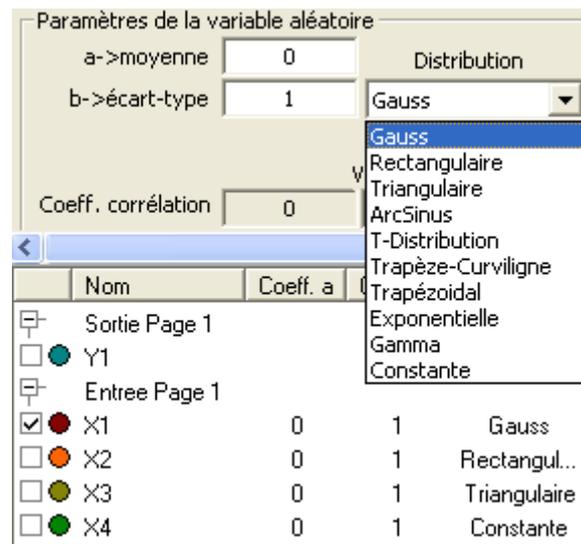
La vue « **Calculs Statistiques** » permet de définir les données d'entrée et de visualiser les sorties.



Une **loi de distribution** doit être associée à chacune des variables d'entrée  $X_i$ .

Pour cela, dans la liste des variables d'entrée-sortie à gauche de l'écran, on coche d'abord le terme correspondant pour sélectionner la variable d'entrée  $X_i$ .

Ensuite on choisit dans la liste déroulante la distribution voulue et on donne les paramètres nécessaires.

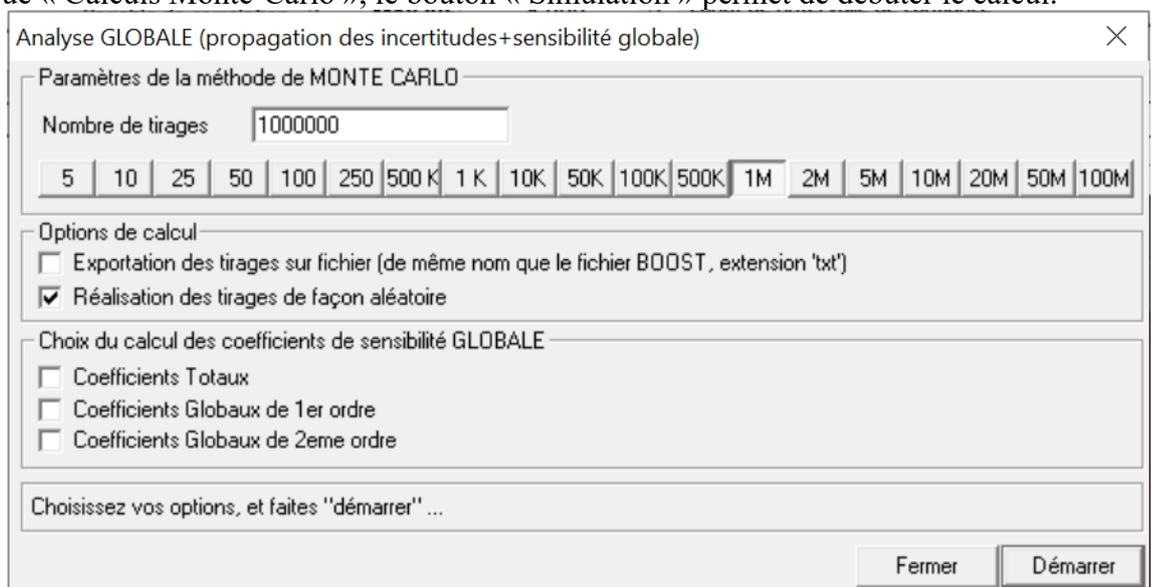


#### 3.6.4.4. Etape 4 : lancement du calcul

Toujours dans la vue « Calculs Monte-Carlo », le bouton « Simulation » permet de débiter le calcul.

La fenêtre suivante apparaît pour paramétrer le calcul.

Le bouton "Fermer" n'annule pas les modifications.



Les boutons supérieurs permettent de fixer le nombre de tirages aléatoires dans la simulation. Ce nombre peut être modifié dans la zone de saisie.

Les cases à cocher autorisent ou non le calcul des coefficients de sensibilité (voir [11041]).

- Totaux** : coefficients de sensibilité totaux.
- Globaux de 1<sup>er</sup> ordre** : coefficients de sensibilité globaux de premier ordre.
- Globaux de 2<sup>eme</sup> ordre** : coefficients de sensibilité globaux de deuxième ordre.

Le calcul des coefficients de sensibilité nécessite des tirages supplémentaires et donc augmente fortement le temps de calcul. Ces coefficients sont estimés (et non pas déterminés de façon exacte) par la méthode de SOBOL, ce qui peut conduire à des valeurs assez approximatives (négatives ou dont la somme ne donne pas 1), en particulier si le nombre de tirages est assez faible par rapport au nombre de variables d'entrée à prendre en compte.

Le bouton « Démarrer » lance le calcul

### 3.6.4.5. Etape 5 : exploitation des résultats

Différentes fonctionnalités facilitent l'analyse des résultats.

**Choix de la variable** : après calcul, l'affichage des résultats se fait variable par variable, et la sélection se fait dans la vue « liste des variables », par la case à cocher située à gauche de la pastille de couleur.

**Informations statistiques** : la fenêtre en haut à gauche affiche les propriétés statistiques de la variable cochée (moyenne, écart-type et les bornes supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance dont la probabilité de couverture est 95%).

**Types de graphique** : certains résultats peuvent être visualisés par graphes, selon les cases cochées pour le type de graphique.

	Nom	Module	Code	Type
<input type="checkbox"/>	Sortie Page 1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Somme	Addition	Y	Réel
<input type="checkbox"/>	Entree Page 1			
<input type="checkbox"/>	X1	Addition	X1	Réel
<input type="checkbox"/>	X2	Addition	X2	Réel
<input type="checkbox"/>	X3	Addition	X3	Réel
<input type="checkbox"/>	X4	Addition	X4	Réel

Statistiques	
<b>Moyenne</b>	-0.0001043
<b>Ecart type</b>	2
<b>Min 95</b>	-3.914
<b>Max 95</b>	3.918
<b>Etendue</b>	7.832

Type et paramètres du graphique

Effectifs Nb Classes

Densité de probabilité  Coeff. sensibilité totaux

Répartition  Coeff. sensibilité globaux 1er O.

Long. de l'intervalle de confiance

Corrélation

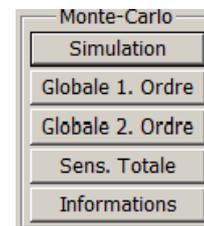
A noter qu'il est possible d'afficher la forme théorique de la densité de probabilité, tracée à partir de la moyenne et de l'écart-type calculés : cliquer une fois de plus sur la case à cocher « densité de probabilité ».

Le tableau suivant présente les affichages possibles pour la variable sélectionnée :

Type de graphique	Description	Affichage Ecran
<b>Densité de probabilité</b> ou <b>Effectifs</b> + <b>Gaussienne</b>	Tracé de la <b>densité de probabilité</b> ou des <b>effectifs</b> (« nombre d'observations appartenant à une classe spécifiée » [GUM] C.2.17), sous forme d'histogramme. Possibilité de superposer une <b>gaussienne</b> déterminée à partir de la moyenne et de l'écart-type (click à nouveau)	
<b>Fonction de répartition</b>	Tracé de la <b>fonction de répartition</b> , qui donne la probabilité que « la variable aléatoire X soit inférieure ou égale à x » ([GUM] C.2.4), x étant l'abscisse du tracé.	
<b>Longueur de l'intervalle de confiance</b>	Tracé de la longueur de l' <b>intervalle de confiance</b> bilatéral (voir plus loin).	
<b>Corrélation</b>	Présentation des résultats sous forme d'un nuage de points, pour l'évaluation d'une <b>corrélation</b> entre deux variables.	
<b>Coefficients de sensibilité totaux et globaux</b>	Tracé des <b>coefficients de sensibilité totaux et globaux du 1er et 2eme ordre</b> , sous forme de camemberts.  Le tracé se fait en <b>pourcentages</b> (à gauche) ou en <b>valeurs</b> (à droite) : affichage avec 1 ou 2 "cemenberts", la sélection se faisant par re-click sur la case à cocher.	

L'**intervalle de confiance** bilatéral P (en %) est l'intervalle tel que P est la probabilité d'y obtenir une observation ([GUM] C.2.27). Ici l'abscisse du tracé donne la valeur de P (comprise entre 0 et 5%) et l'ordonnée la longueur de l'**intervalle de confiance** bilatéral.

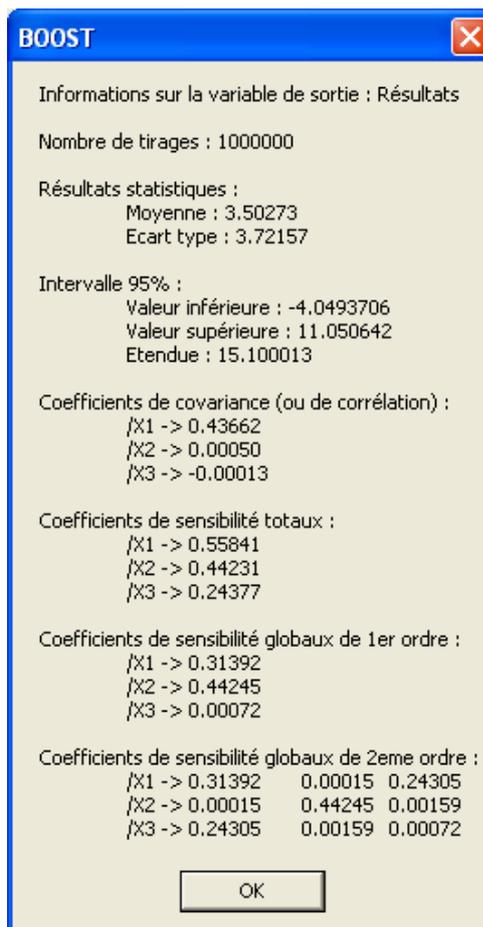
**Informations générales** : le bouton « Informations » donne accès à l'ensemble des informations statistiques sur la variable sélectionnée, tandis que les boutons « Sens. Total », « Global 1. Ordre » et « Global 2. Ordre » n'affichent que les coefficients de sensibilité totaux et globaux.



La figure ci-contre donne l'ensemble des informations affichables.

A noter que la fenêtre est tronquée lorsque le nombre de variables d'entrée est trop important: seuls les coefficients par rapport aux premières variables d'entrée sont affichés.

Les **coefficients de sensibilité globaux** de deuxième ordre sont représentés par une matrice N\*N où N est le nombre de variables d'entrée. La valeur située à la ligne i et à la colonne j est le coefficient  $S_{ij}$  (le coefficient de sensibilité global de deuxième ordre par rapport à la variable i et la variable j).

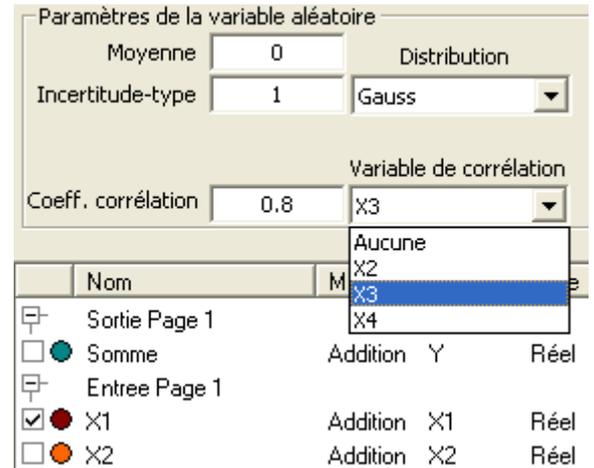


### 3.6.5. Les variables aléatoires corrélées

Une corrélation peut être définie entre deux variables d'entrée, à condition que celles-ci soient associées à des distributions gaussiennes (les méthodes de calcul, nettement plus compliquées, ne sont pas implémentées).

La procédure est la suivante :

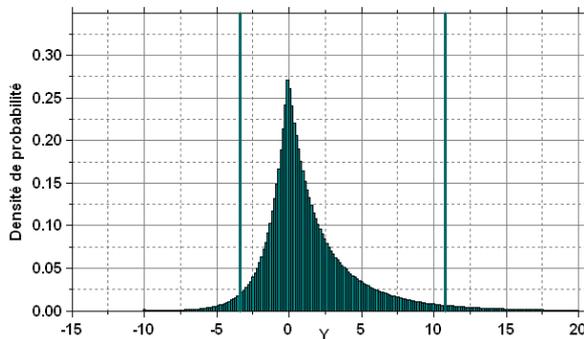
- 1 Sélectionner la première variable de la corrélation dans la vue « liste des variables » (ici X<sub>1</sub>)
- 2 Sélectionner la seconde variable de la corrélation dans la liste déroulante (ici X<sub>3</sub>)
- 3 Donner le coefficient de corrélation (entre -1 et 1).



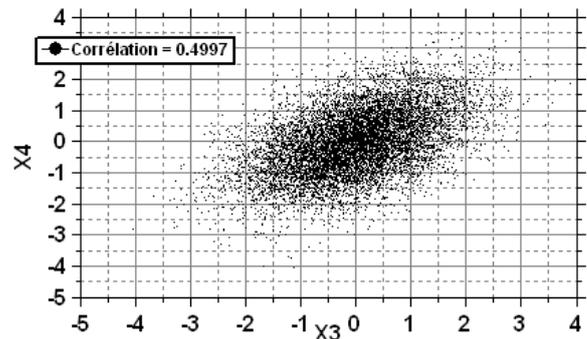
**Exemple :** soit la variable de sortie Y telle que  $Y=X_1.X_2+3.X_3.X_4$

avec les variables d'entrée X<sub>i</sub> associées à des distributions gaussiennes de moyenne 0 et d'écart-type 1. Le coefficient de corrélation est  $\rho=0.5$ .

Avec ces valeurs, la moyenne et l'écart-type théoriques valent  $\mu = 3.5$  et  $\sigma = 1.5$ . Les coefficients de sensibilité totaux et globaux du 1<sup>er</sup> ordre théorique valent tous deux 0.9184.



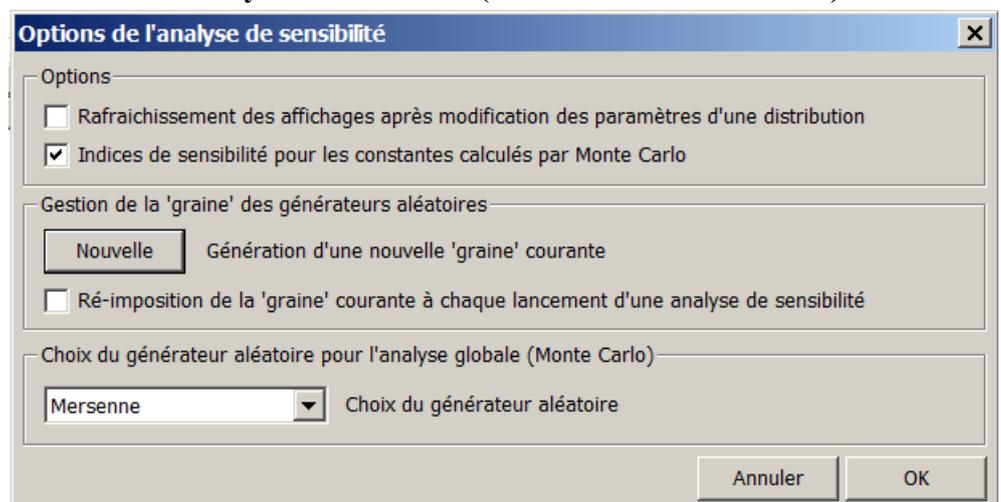
Tracé de la densité de probabilité



« Corrélations » entre X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub>

### 3.6.6. Options de simulations de l'analyse de sensibilité (simulations Monte Carlo)

Ces options sont présentées sur l'écran ci-contre.



## 4. Tutorial pour les calculs permanents et transitoires

### 4.1. *Tutorial d'un module "Somme de 2 variables"*

Nom du fichier d'exemple : Tutorial\_Module\_Somme.boo

Il s'agit de créer un module réalisant la somme de 2 variables réelles (cf. Exposé BOOST n° 2).

La première opération consiste à créer un module "permanent" (ou "stationnaire"), par le menu "Fichier\Nouveau" ou Ctrl+N. Ensuite, il faut créer 2 variables d'entrée et 1 de sortie.

Code	Nom	Valeur	Code	Nom	Valeur
	Variables d'entrée			Variable de sortie	
X1	Variable X1	3	Y1	Variable Y1	5
X2	Variable X2	2			

```
Begin_Module
{
    Y1 = X1 + X2;
}
End_Module
```

Vue des données et du code source de l'exemple Module\_Somme

### 4.2. *Tutorial métamodule d'assemblage des 2 modules "Somme de 2 variables"*

Nom du fichier d'exemple : Tutorial\_MetaModule\_Somme.boo

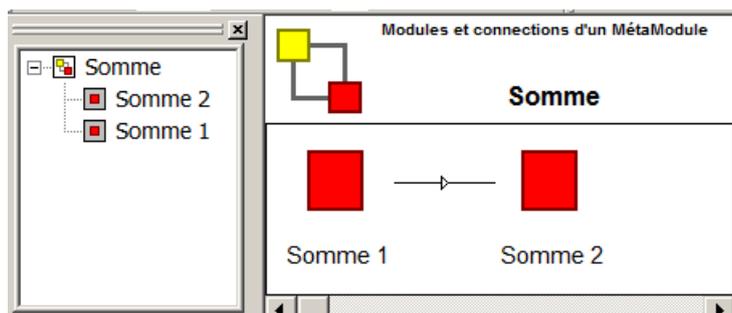
Il s'agit de créer un métamodule réalisant l'assemblage de 2 modules "Sommes de 2 variables" (cf. Exposé BOOST n° 2).

La première opération consiste à créer un métamodule, par le menu "Fichier\Nouveau" ou Ctrl+N.

Ensuite il faut faire afficher la vue "Connexions", par un click droit sur la page blanche faire afficher le menu contextuel : "Insérer\Un module d'un fichier" et choisir "Tutorial\_Module\_Somme".

Ensuite il faut le dupliquer (Ctrl+C suivi de Ctrl+V, ou menu "Copier" suivi de "Coller"), renommer ces deux modules en "Somme 1" et "Somme 2", les relier par une connexion allant de "Somme 1" à "Somme 2", éditer cette connexion et ajouter un lien entre Y1 de "Somme 1" et X1 de "Somme 2".

Le sélecteur de menu permet de naviguer entre les 2 modules (voir figure ci-contre).



Les valeurs X1=3 et X2=5 pour "Somme 1" donnent Y1=8, et avec X2=4 pour "Somme 2", on obtient Y1=12 pour "Somme 2".

Ensuite il est proposé de remonter les variables du niveau des modules au niveau du métamodule, c'est-à-dire que les variables sont accessibles directement au niveau du métamodule.

On obtient alors la vue de données suivante au niveau du métamodule.

Code	Nom	Valeur	Code	Nom	Valeur
X1	Variable X1	3	Y1	Variable Y1	12
X2	Variable X2	5			

### 4.3. Tutorial d'un module "Masse" ("échauffement d'une masse")

Nom du fichier d'exemple : Tutorial\_Module\_Masse.boo

#### 4.3.1. Le module avec un schéma en temps explicite

Il s'agit d'évaluer le comportement thermique d'une masse, représenté par l'équation différentielle suivante :

$$M \cdot \frac{dT}{dt} = K \cdot (T_{\text{Ambiant}} - T)$$

M, K, T et T<sub>Ambiant</sub> sont respectivement la masse (en kg), la constante d'échange (en kg/s), la température de la masse (°C) et la température ambiante (°C).

La vue des données est la suivante :

Données de la masse			
M	Masse [kg]	50	
T0	Température initiale de la masse [°C]	20	
K	Constante d'échange [kg/s]	0.05	
Données de l'ambiance			
TAmbiant	Température ambiante [°C]	50	

Le code source est donné ci-contre.

L'instruction "Dt==0" teste le premier passage dans le code (au temps initial), et conduit à l'initialisation des variables.

**Attention** : le test "Dt==0" est utilisé dans les versions antérieures à la V6.02. Le test pour l'initialisation a changé depuis.

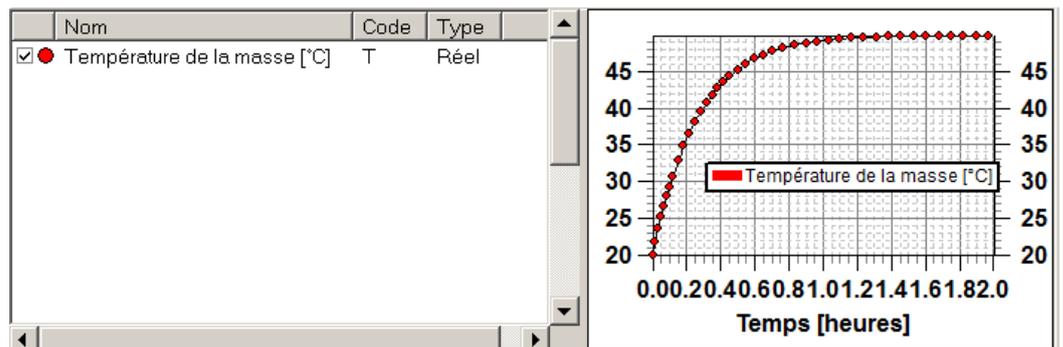
```

Begin_Module
{
    if (Dt==0) {
        T = T0;
    } else {
        T += Dt*K/M*(TAmbiant - T);
    }
}
End_Module

if (Time==0) {
    T = T0;
} else {
    T += Dt*K/M*(TAmbiant - T);
}
    
```

Bien que l'ancienne version reste valable, dorénavant le test doit s'écrire de la façon suivante :

La vue des calculs transitoires permet d'effectuer le calcul, ici sur 2 heures avec un pas de calcul de 60 s et un pas de stockage de 60 s.



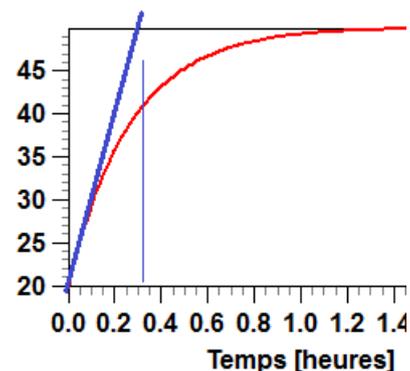
Le schéma en temps est dit "explicite", et consiste à déterminer la température au pas en temps t+Dt de la façon suivante :

$$M \cdot \frac{T(t + Dt) - T(t)}{Dt} = K \cdot (T_{\text{Ambiant}}(t) - T(t)) \quad \text{soit} \quad T(t + Dt) = T(t) + Dt \cdot \frac{K}{M} \cdot (T_{\text{Ambiant}}(t) - T(t))$$

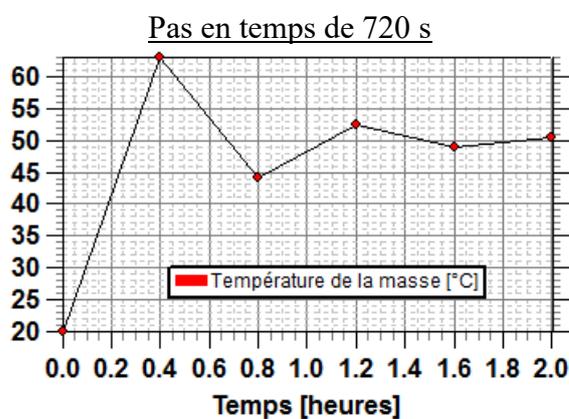
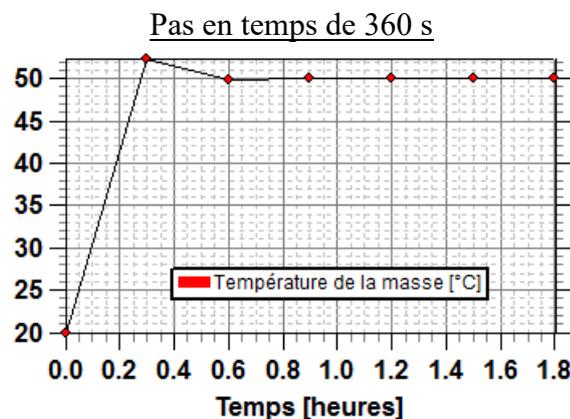
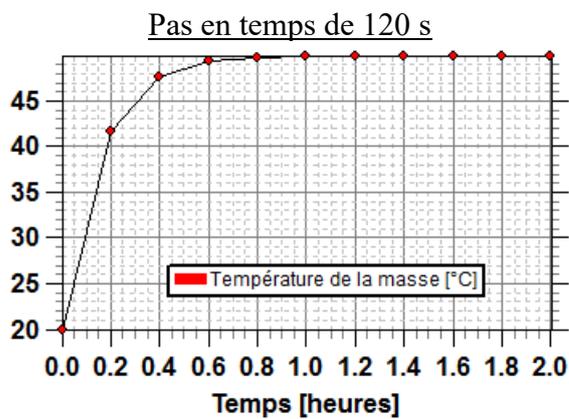
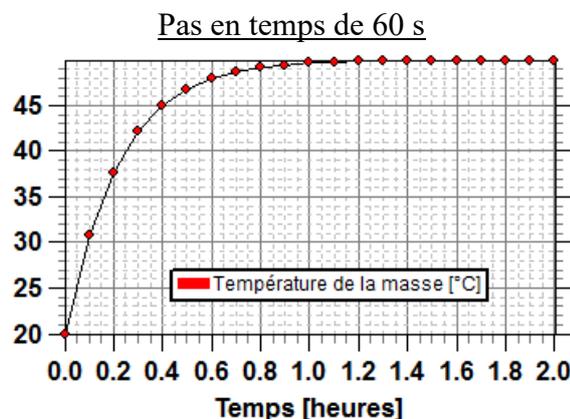
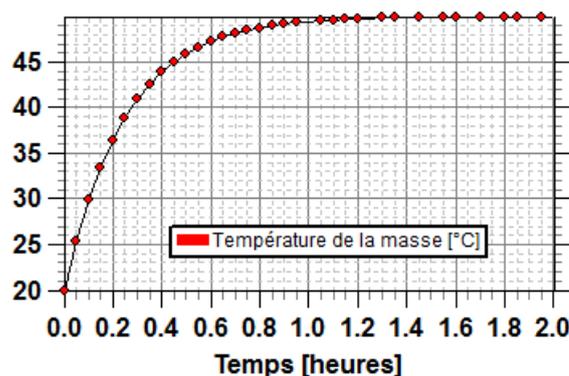
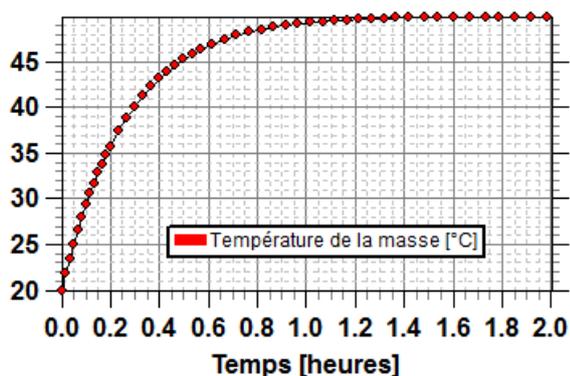
Le schéma explicite produit des résultats qui dépendent de la valeur du pas en temps par rapport au temps caractéristiques du problème, ici évalué à 1000 s sur la figure ci-contre.

La valeur théorique de ce temps caractéristique est  $M/K$ , soit 1000 s exactement.

Une règle heuristique conduit à choisir un "bon" pas en temps de l'ordre de 20 % (facteur 1/5) du temps caractéristique, soit ici 200 s.



Les figures suivantes donnent l'évolution de la température pour différentes valeurs du pas en temps dans le cas d'un **schéma en temps explicite**.



Il est clair qu'un schéma explicite demande un pas en temps inférieur au temps caractéristique du problème.

**Conclusion** : ce paragraphe illustre la nécessité de respecter les pas en temps proposés par le CETIAT pour la simulation des modules et métamodules.

### 4.3.1. Le module avec un schéma en temps implicite

Nom du fichier d'exemple : Tutorial\_Module\_Masse\_Implicite.bo

Dans le cas d'un schéma implicite, l'équation de définition de la température au temps  $t+Dt$  est la suivante :

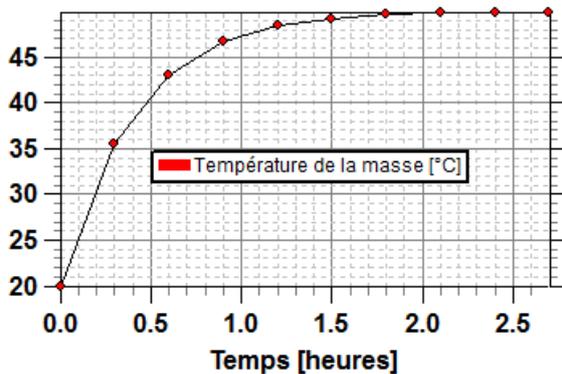
$$M \cdot \frac{T(t + Dt) - T(t)}{Dt} = K \cdot (T_{\text{Ambiant}}(t) - T(t + Dt)) \quad \text{soit} \quad T(t + Dt) = \frac{T(t) + \frac{K}{M} \cdot Dt \cdot T_{\text{Ambiant}}(t)}{1 + \frac{K}{M} \cdot Dt}$$

Ce schéma est stable, quel que soit le pas en temps : un pas en temps important est donc possible, sans limitation par rapport au temps caractéristique.

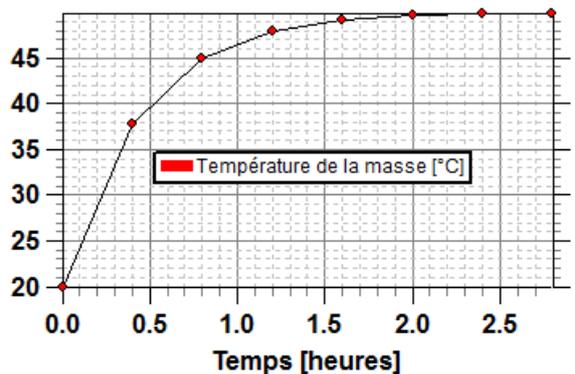
Le code est donné ci-contre.

```
if (Time==0) {
    T = T0;
} else {
    double dX = Dt*K/M;
    T = ( T + dX*TAmbiant ) / ( 1 + dX );
}
```

Les figures suivantes donnent l'évolution de la température pour différentes valeurs du pas en temps dans le cas d'un **schéma en temps implicite**.



Pas en temps de 1080 s



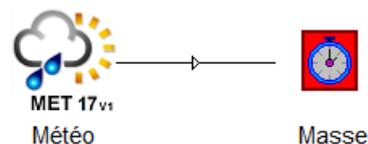
Pas en temps de 1440 s

L'intégration en temps est clairement correctement réalisée, quelle que soit la valeur du pas en temps.

### 4.4. Tutorial d'un métamodule "Masse" relié au module MET de météo

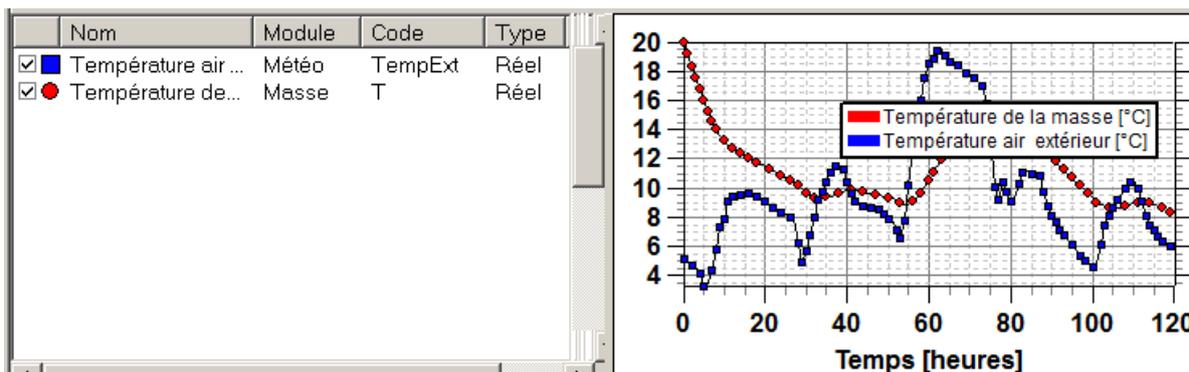
Nom du fichier d'exemple : Tutorial\_MetaModule\_Masse\_Avec\_Meteo.boo

Il s'agit de relier le module "Masse" au modèle BOOST de météo MET, de façon à rendre variable la température ambiante  $T_{Ambiant}$  en la reliant à la variable "température extérieure" qui est lue dans un fichier.

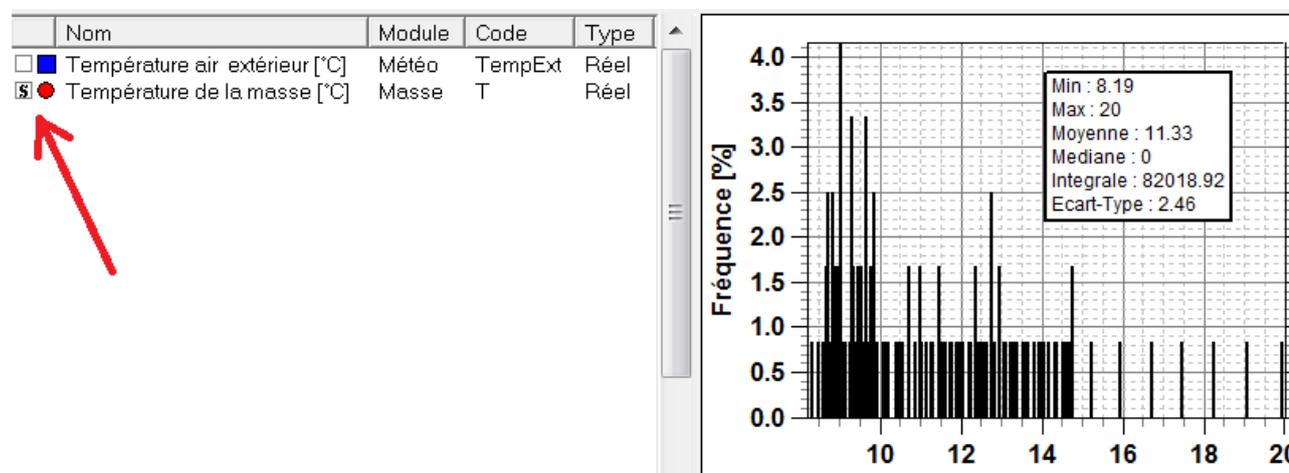


Le calcul est effectué avec les paramètres temporels du module "Masse".

La vue des calculs transitoires permet l'affichage des variables en fonction du temps.

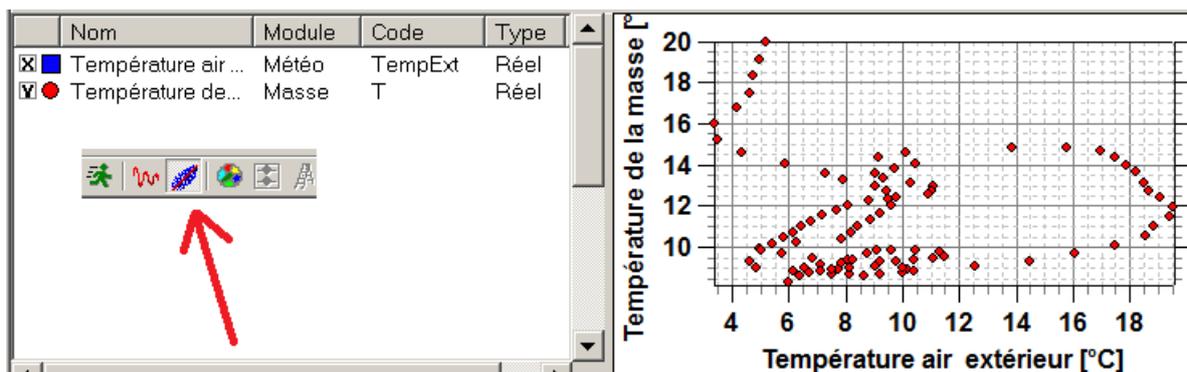


Dans cette même vue, un click-droit sur la case à cocher associée à la température de la masse fait afficher les **fréquences des occurrences** de température, avec des informations statistiques sur cette variable.



L'affichage des nuages de points s'effectue avec le bouton marqué en rouge sur la figure suivante.

Le choix des 2 variables tracées se fait par sélection des cases à cocher.



## 4.5. Tutorial d'un modèle simplifiée de paroi

Nom du fichier d'exemple : Tutorial\_Module\_Paroi.boo

Pour traiter le cas d'une paroi composée d'un matériau unique et soumise à des conditions climatiques variées de part et d'autre, on peut utiliser le modèle simplifié suivant :

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C \cdot e \cdot S \cdot \frac{dT_{\text{int}}(t)}{dt} = h_{\text{int}} \cdot S \cdot (T_{\text{int}}^0(t) - T_{\text{int}}(t)) + \frac{\lambda}{e} \cdot (T_{\text{ext}}(t) - T_{\text{int}}(t)) \\ \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C \cdot e \cdot S \cdot \frac{dT_{\text{ext}}(t)}{dt} = h_{\text{ext}} \cdot S \cdot (T_{\text{ext}}^0(t) - T_{\text{ext}}(t)) - \frac{\lambda}{e} \cdot (T_{\text{ext}}(t) - T_{\text{int}}(t)) \end{cases} \quad \text{et } T_{\text{int}}(0) = T_{\text{ext}}(0) = T_0$$

où  $T_{\text{int}}$  et  $T_{\text{ext}}$  sont les températures de surface intérieure et extérieure de la paroi,  $h_{\text{int}}$  et  $h_{\text{ext}}$  les coefficients d'échange intérieur et extérieur.  $T_{\text{ext}}$  indique la température « assez loin » des surfaces.  $S$  et  $e$  représente la surface et l'épaisseur de la paroi,  $\lambda$  la conductivité thermique,  $\rho$  la masse volumique et  $C$  la capacité calorifique.

Les conditions initiales sont telles que la température est uniforme dans la paroi.

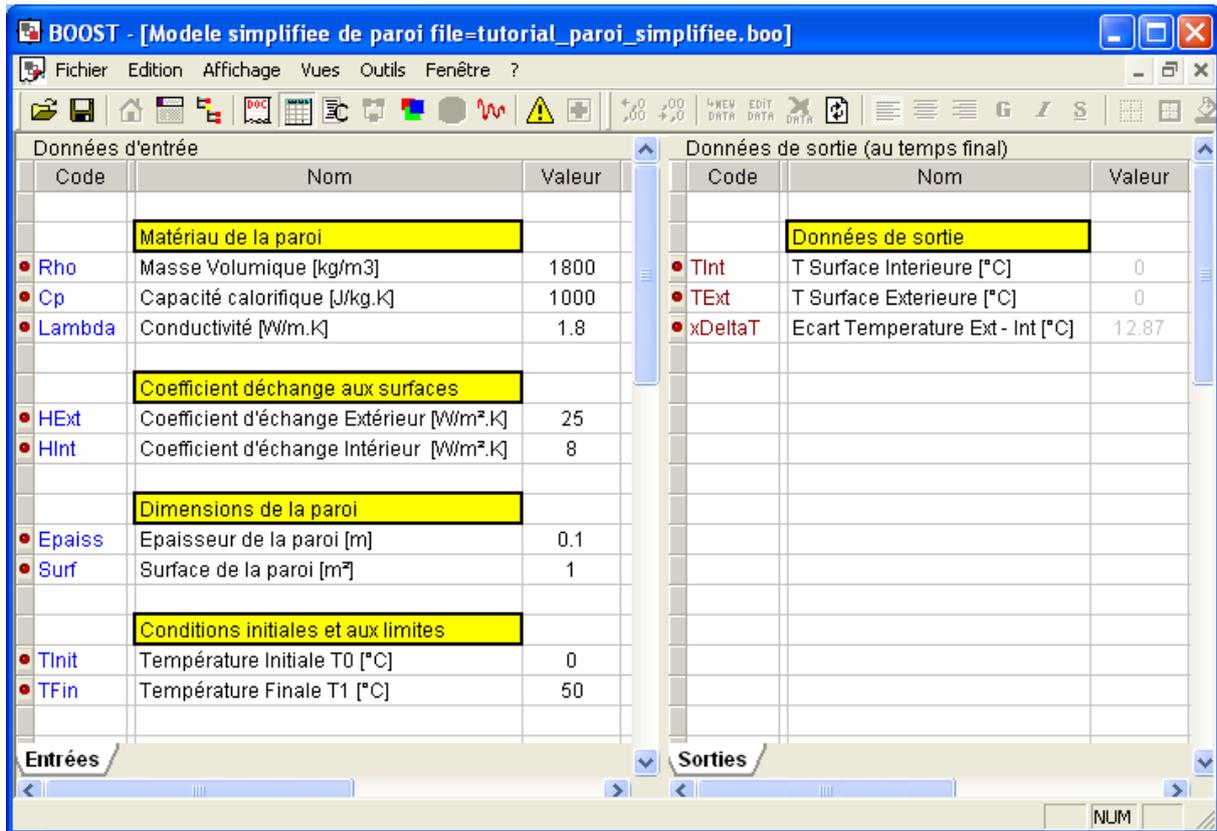
Les conditions aux limites correspondent à un saut en température sur la face extérieure :

$$\begin{cases} T_{\text{int}}^0(t) & T_0 \text{ pour } t \geq 0 \\ T_{\text{ext}}^0(t) & T_0 \text{ si } t = 0 \text{ et } T_1 \text{ si } t > 0 \end{cases}$$

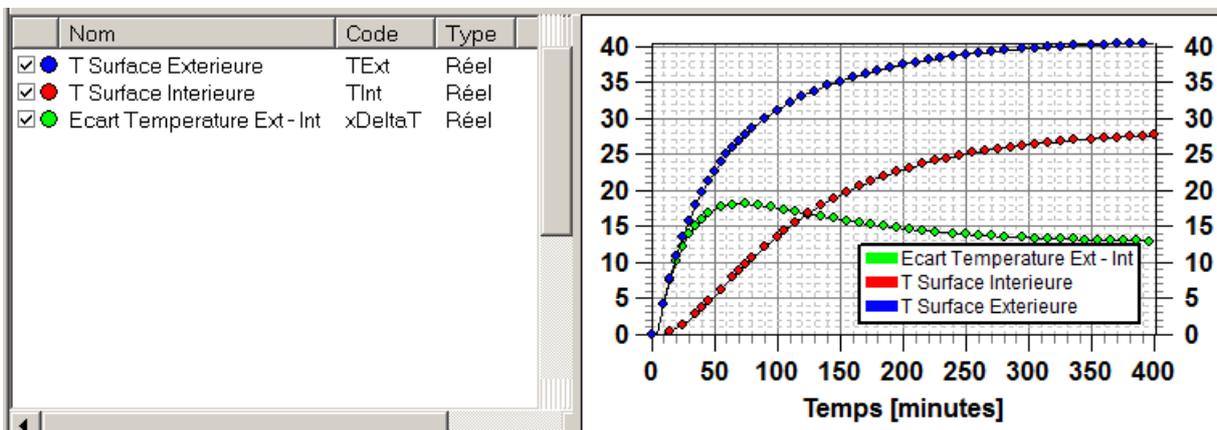
La programmation de ce système d'équations dans BOOST peut s'écrire de la façon suivante :

```
static double dTExtDt, dTIntDt;
Begin_Module
{
    double xCoeffExt = 2 * HExt / Rho / Cp / Epaiss;
    double xCoeffInt = 2 * HInt / Rho / Cp / Epaiss;
    double xCoeff = 2 * Lambda / Rho / Cp / Epaiss / Epaiss;
    if (Dt == 0) {
        dTExtDt = dTIntDt = 0;
        TInt = TInit;
        TExt = TInit;
        xDeltaT = TExt - TInt;
    } else {
        TInt += dTIntDt * Dt;
        TExt += dTExtDt * Dt;
        dTExtDt = xCoeffExt * (TFin - TExt) + xCoeff * (TInt - TExt);
        dTIntDt = xCoeffInt * (TInit - TInt) + xCoeff * (TExt - TInt);
        xDeltaT = TExt - TInt;
    }
}
End_Module
```

L'écran des données d'entrée et de sortie est présenté sur la figure suivante :



L'évolution des températures est présentée sur la figure suivante :



### 4.6. Tutorial d'un modèle d'équations différentielles couplées non linéaires

Nom du fichier d'exemple : Tutorial\_Module\_ProiePredateur.bo

Un premier modèle classique de proie-prédateur a été imaginé en 1925 par Volterra pour modéliser l'évolution des requins et des sardines dans la mer Adriatique. Une variante de ce modèle a été développée par Lotka, sous la forme de deux équations différentielles :

$$\begin{cases} \frac{dL}{dt} = r.L - \alpha.L.R \\ \frac{dR}{dt} = \beta.R.L - q.R \end{cases} \text{ avec } \begin{array}{l} L : \text{densité de proies} \\ R : \text{densité de prédateurs} \\ r : \text{taux de croissance des proies} \\ \alpha : \text{taux de rencontre des prédateurs avec les proies} \\ \beta : \text{efficacité de la conversion des proies en nouveaux prédateurs} \\ q : \text{taux de mortalité des prédateurs} \end{array}$$

Ce modèle expose qu'en l'absence de prédateurs, les proies croissent exponentiellement, et de même qu'en l'absence de proies, les prédateurs décroissent exponentiellement.

Ce modèle s'applique de façon large aux populations ou aux stratégies de planification militaire.

Il va être appliqué ici à l'évolution couplée ([SCH]) d'une population de renards (R) et de lapins (L), avec  $r = 2$ ,  $\alpha = 3$ ,  $\beta = 5$  et  $q = 4$ . Le temps  $t$  est exprimé en mois.

Le choix d'un schéma explicite en temps conduit à l'écriture suivante :

$$\begin{cases} \frac{L(t + Dt) - L(t)}{Dt} = 2 * L(t) - 3 * L(t) * R(t) \\ \frac{R(t + Dt) - R(t)}{Dt} = -4 * R(t) + 5 * R(t) * L(t) \end{cases} \text{ soit } \begin{cases} L(t + Dt) = L(t) + Dt * (2 * L(t) - 3 * L(t) * R(t)) \\ R(t + Dt) = R(t) + Dt * (-4 * R(t) + 5 * R(t) * L(t)) \end{cases}$$

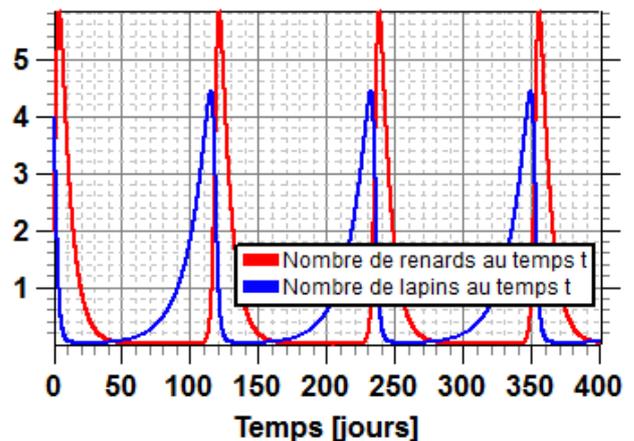
Le choix d'un schéma implicite en temps conduirait à l'écriture suivante :

$$\begin{cases} \frac{L(t + Dt) - L(t)}{Dt} = 2 * L(t + Dt) - 3 * L(t + Dt) * R(t + Dt) \\ \frac{R(t + Dt) - R(t)}{Dt} = -4 * R(t + Dt) + 5 * R(t + Dt) * L(t + Dt) \end{cases}$$

Cette équation est non-linéaire à cause du produit des termes R et L, et est donc moins triviale à résoudre.

La figure suivante présente les évolutions du nombre de renards et de lapins, avec une population initiale respective de 2 et 4.

Le pas en temps est de 1 heure, pour une durée totale de 400 jours. Le schéma en temps est explicite.



### 4.7. Tutorial du modèle de ballon BAL (Version 17 V1)

Nom du fichier d'exemple : Tutorial\_Module\_BAL17\_V1.boo

La version utilisée ici est la version BAL17 V1.

Les données de l'exemple correspondent à un ballon de 300 litres, avec 3 sous-systèmes potentiels : un piquage, un échangeur et une résistance. Ces sous-systèmes sont "en service", mais pas "pris en compte".

L'échangeur est positionné tel que  $\alpha=0.2$ , et  $\beta=0.6$  (point bas de l'échangeur à 20 % du bas du cylindre équivalent, hauteur totale de l'échangeur de 60 % du cylindre équivalent).

Le modèle comprend 5 sondes de température, permettant de suivre l'évolution des températures à différentes hauteurs (0, 0.25, 0.5, 0.75, et 1 en position relative, position dénotées "fond", "basse", "moyenne", "haute" et "sommet"). Ces données sont modifiables dans l'onglet "Sondes".

Il existe une sortie spécifique donnant la température moyenne dans le ballon (code AvgT) et qui correspond à la moyenne arithmétique des températures.

Il est possible d'afficher le profil de température à l'intérieur du ballon, au dernier temps du calcul transitoire.

Ce profil donne en abscisse la position dans le ballon (de bas en haut).

Profils verticaux		
• PrfT	Profil de température dans le ballon [°C]	Profil T
• PrfQ	Profil de débits entrants dans le ballon [m3/s]	Profil Q
• PrfM	Profil de débits entrants dans les strates [m3/s]	Profil M
• PrfD	Profil de débit entre strates [m3/s]	Profil D

Affichage du profil de température dans le ballon

Pour les exemples suivants, le pas en temps est par défaut de 60 s, et la durée de simulation de 2 jours.

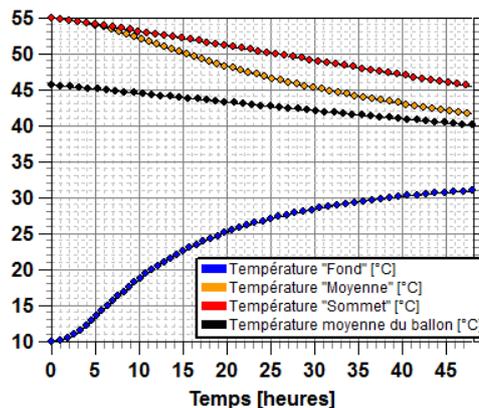
#### 4.7.1. Simulation du refroidissement libre

La configuration initiale de température est fixée dans l'onglet "géométrie", avec la définition des parties chaude et froide, à la rubrique "Températures initiales".

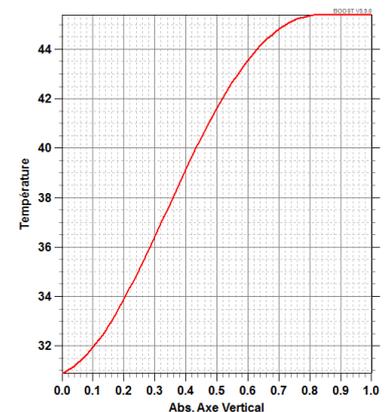
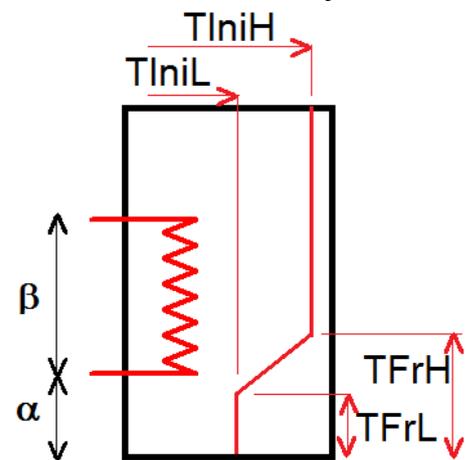
Températures initiales		
• TFrL	Séparation temp. "basse" [0,1]	0.2
• TFrH	Séparation temp. "haute" [0,1]	0.2
• TIniL	Température initiale "basse" [°C]	10
• TIniH	Température initiale "haute" [°C]	55

Les "bonnes" valeurs en générales sont telles que  $TFrL = TFrH = \alpha$ .

Avec les valeurs de l'exemple, on obtient les évolutions suivantes de température "fond", "moyenne" et "sommet", ainsi que la température moyenne dans le ballon.



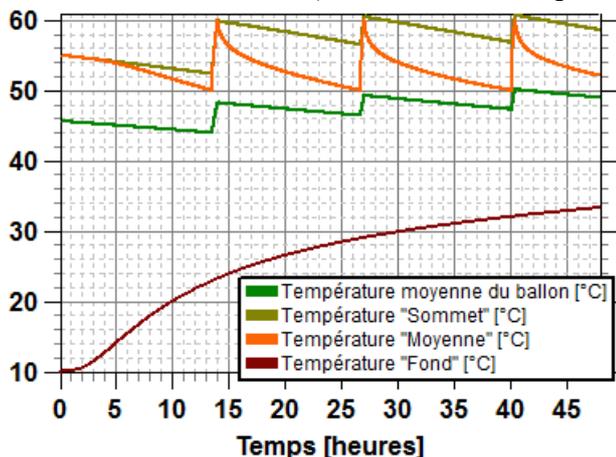
Evolution des températures



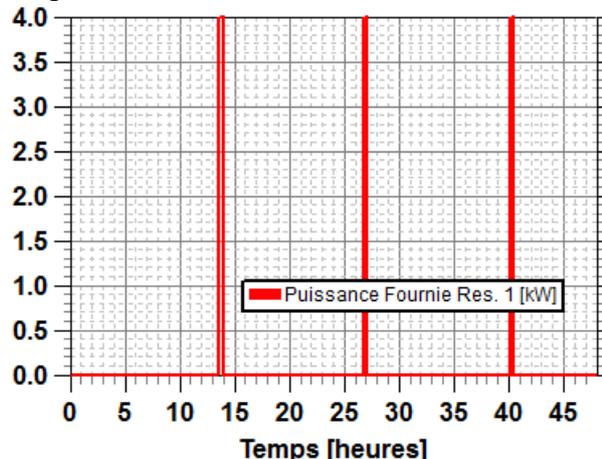
Profil de temp. dans le ballon

### 4.7.2. Refroidissement libre avec réchauffage par une résistance

A partir de l'exemple en refroidissement libre, une résistance est prise en compte ("Prise en compte résistance 1" => OUI), de puissance 4 kW, positionnée à 0.5 (mi-hauteur), à une consigne de 55 ° pour un hystérésis de 5 °C (attention : dans le cas de la résistance, ces valeurs vont autoriser la température à osciller entre 50 et 60 °C). La sonde de température est positionnée à 0.5.



Evolution des températures



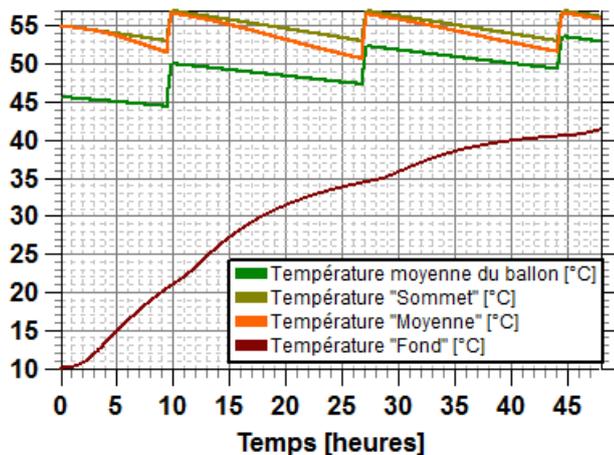
Evolution de la puissance de la résistance

### 4.7.3. Refroidissement libre avec réchauffage par un échangeur

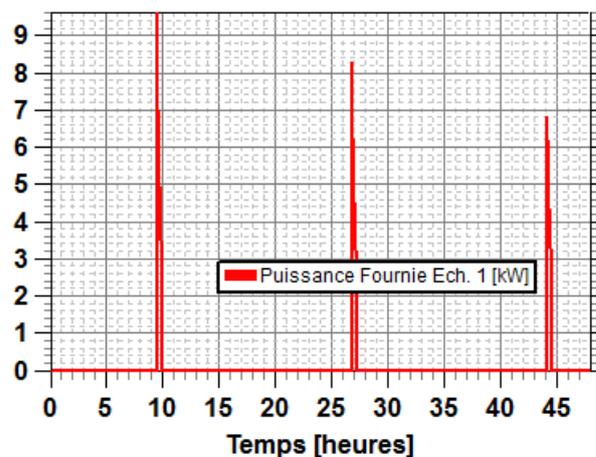
A partir de l'exemple en refroidissement libre, un échangeur est pris en compte ("Etat en ou hors Service" => OUI, "Prise en compte Echangeur 1" => OUI). **Attention** : le fait de mettre l'échangeur "en service", quel que soit la prise en compte, le rend présent dans les calculs à travers sa masse et son inertie, même en l'absence de débit. C'est le seul "sous-système" ayant cette spécificité.

Le débit est de 10 l/min, avec une température d'entrée de 60 °C.

La consigne est fixée à 55 °C, avec un hystérésis de 2 °C. La régulation est faite ici dans le ballon, alors qu'en général elle est faite dans un module spécifique, en dehors du ballon : cette régulation "interne" au ballon permet de l'utiliser en tant que module unique. Pour une utilisation avec une régulation externe, il faut shunter cette régulation interne en fixant une consigne élevée (1000 °C).



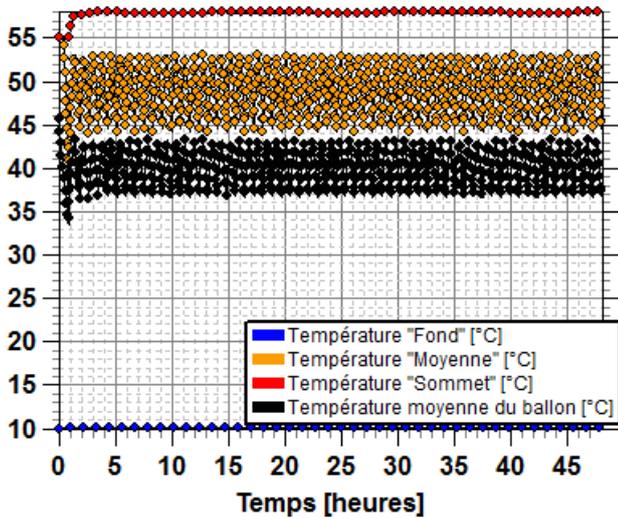
Evolution des températures



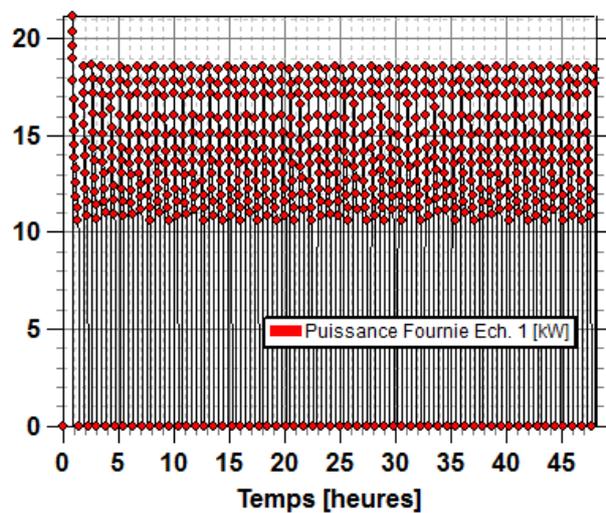
Evolution de la puissance de l'échangeur

#### 4.7.4. Refroidissement libre avec réchauffage par un échangeur et puisage par piquage

A partir de l'exemple de refroidissement libre avec réchauffage par un échangeur, un piquage est pris en compte ("Prise en compte Piquage 1" => OUI). L'eau entre au bas du ballon à 10 °C et ressort par le haut, avec un débit de 2 l/min.



Evolution des températures



Evolution de la puissance de l'échangeur

A noter que le puisage est défini à partir d'un débit et d'une température d'entrée : le module TAP de puisages permet de définir une énergie de puisage.

#### 4.8. Tutorial de l'assemblage BAL + TAP (17 V1)

Nom du fichier d'exemple : Tutorial\_Modules\_BAL+TAP 17\_V1.boo

Cet assemblage réalise un puisage "en énergie" sur un ballon (1000 litres, 200 kg à vide, 1 m de diamètre, sans pertes thermiques) réchauffé par une résistance thermique (10 kW, à 0.15 du fond, sonde à 0.2, consigne et hystérésis à 63 et 3.5 °C).

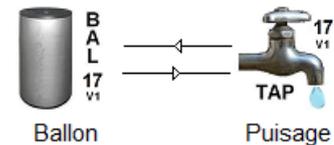


Schéma de l'assemblage BAL + TAP

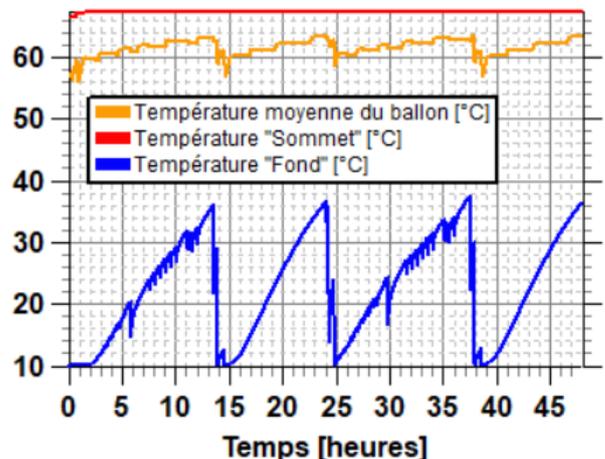
Le puisage est "collectif" avec un profil "2XL", avec un puisage en énergie : la quantité d'eau à puiser est déterminée en fonction d'une "énergie à puiser", et donc dépend de la température de puisage.

Les connexions **TAP => BAL**  
 sont à alors définir  
**BAL => TAP**  
 comme indiqué.

Code	Nom	Code	Nom	Type
InstPOW	Puissance de puisage [kW]	NCple1	Energie de puisage Piq. 1 [kWh]	Réel
Code	Nom	Code	Nom	Type
TCpleOut1	Temperature Sortie Piq. 1 [°C]	TPuisage	Température de puisage [°C]	Réel

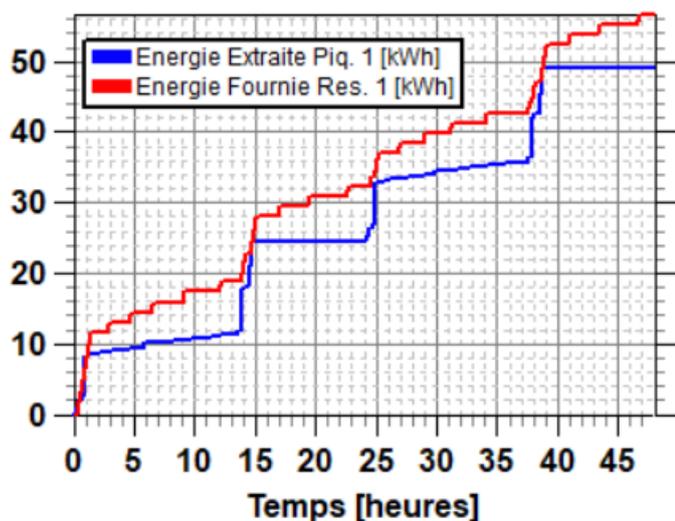
Le pas en temps est pris à 5 s, valeur assez faible car la puissance de la résistance est plutôt importante.

Les deux figures suivantes présentent les énergies fournies par la résistance et extraites par le piquage. Des écarts sont observés sur une période de simulation courte (dû à la non prise en compte de l'énergie initiale dans le ballon), qui s'estompent sur une période plus longue.

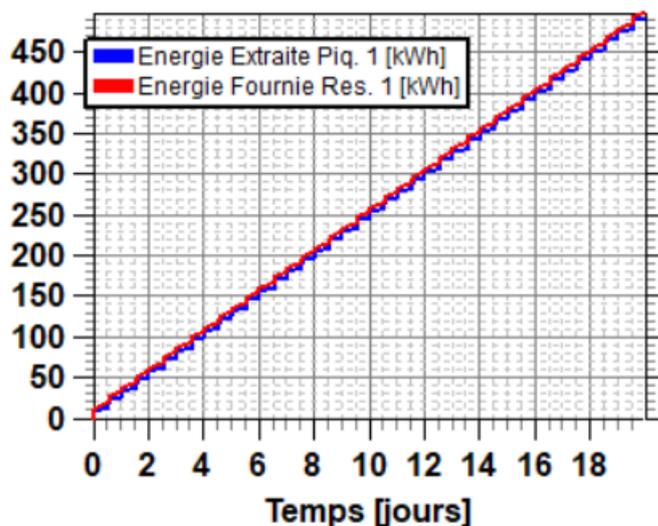


s.

Evolution des températures dans le ballon



Evolution des énergies sur une période de 2 jours



Evolution des énergies sur une période de 20 jours

#### 4.9. Tutorial du modèle de PAC GUN (Version 17 V1)

Nom du fichier d'exemple : TSTGUN17\_V1.boo

La figure ci-contre présente l'assemblage de test.

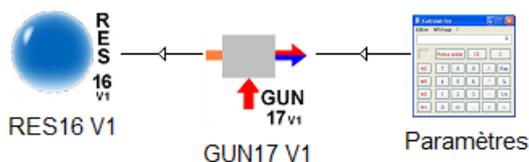


Schéma de l'assemblage de test du module GUN

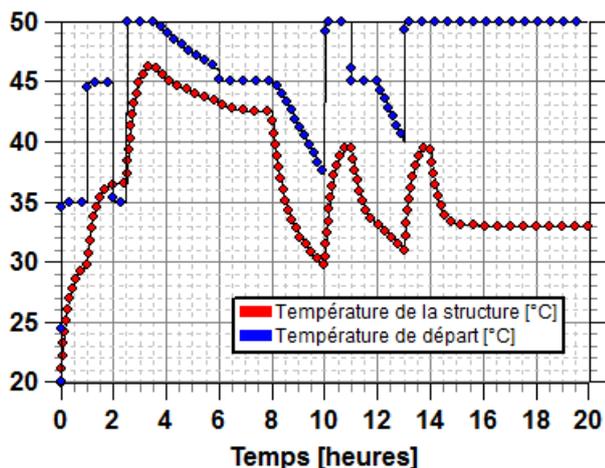
Le système GUN peut fonctionner en mode "PAC Inverter" (dans ce cas ici à COP=1 et à puissance constante 60 kW) ou en mode "Chaudière Modulante" (puissances mini/maxi de 8 et 26 kW).

Le module "Paramètres" impose en entrée du module GUN des températures ambiante (pour les échanges avec l'extérieur) et de retour, ainsi que des demandes de fonctionnement (cf. NT 2016/018 p. 7). Cette configuration permet de tester successivement différents états du système GUN.

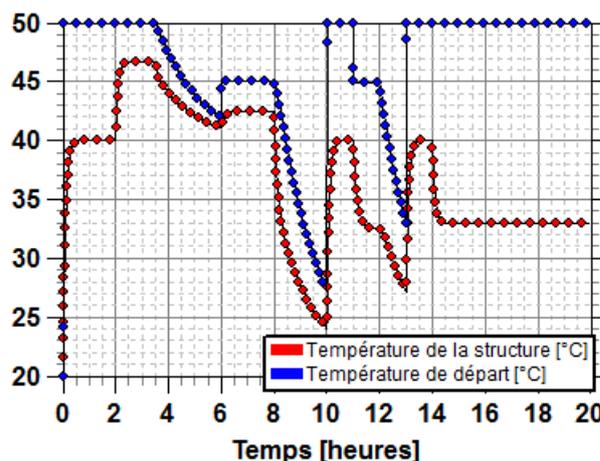
Temps	Demande au module GUN	Température Ambiante (°C)	Température Retour (°C)
t < 1 h	AskRun = TRUE pendant la 1ere ½ h	20	20
t < 2 h	Le système continue à fonctionner	20	30
t < 2.5 h	Le système continue à fonctionner	40	20
t < 3.5 h	Le système continue à fonctionner	40	45
t < 6 h	AskSleep = TRUE	40	45
t < 8 h	AskCirc = TRUE	40	45
t < 10 h	AskStop = TRUE	20	45
t < 11 h	AskRun = TRUE	20	45
t < 12 h	AskCirc = TRUE	20	45
t < 14 h	AskRun = TRUE	20	45

Le système possède une masse de 10 kg, un volume de fluide de 3 litres, avec un coefficient d'échange de 10 W/K : ces valeurs confèrent une inertie thermique au système.

Le système peut fonctionner comme une PAC ou une chaudière, selon l'état de la variable "System" de l'onglet "Data" du module GUN.



Températures pour un système Chaudière

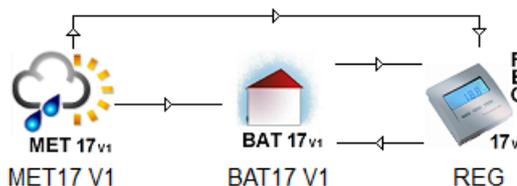


Températures pour un système PAC

#### 4.10. Tutorial du modèle de bâtiment BAT (Version 17 V1)

Nom du fichier d'exemple : TSTBAT17\_V1.boo

Le bâtiment est soumis à une météo, et ses systèmes de chauffage et de ventilation sont pilotés par le module de régulation.

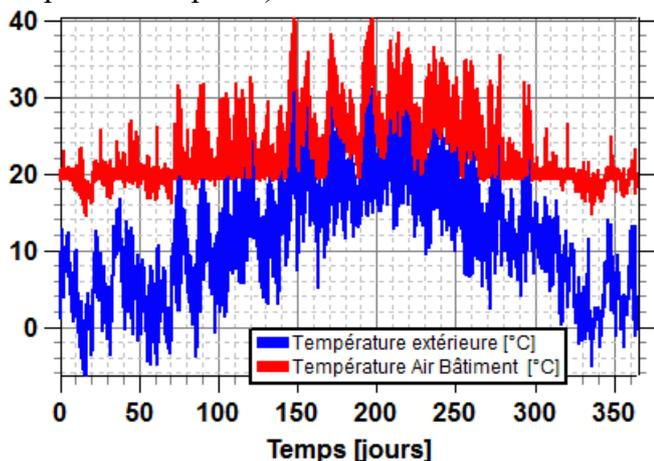


Assemblage de mise en œuvre du bâtiment

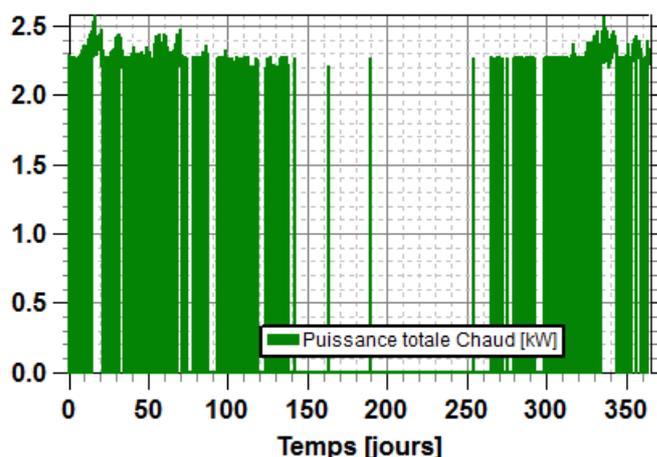
Ce métamodule étant destiné au test du module BAT, il faut effectuer deux modifications pour l'utiliser dans des conditions

- la variable "Origine" (onglet "Données usuelles" du module MET) est réglée sur "Météo BESTEST" : la passer sur "RT".
- la variable "Origine" (onglet "Bâtiment" du module BAL) est réglée sur "BESTEST" (cf. NT 2016/006 p. 23) : la passer sur "Standard".
- La variable "MBatRegul" (onglet "Régulation" du module BAL) est réglée sur "Réelle" (cf. NT 2016/006 p. 23).

Le module de régulation reçoit la température extérieure et la température du bâtiment. En fonction de ces valeurs, il active ou non le chauffage, la ventilation (par rapport à l'extérieur) et la soufflerie (flux d'air à température imposée).



Température intérieure et extérieure



Puissance de chauffage

## **5. Références**

- [09060] J. NOËL et J. HEINTZ, « Intégration de modèles liés à des normes dans des modules du logiciel BOOST : modèles de météo (MET9), capteur solaire à eau (CSE9), puisages (TAP9) », NT 2009/060, CETIAT Décembre 2009.
- [10008] J. NOËL et Y. ROMITTI, "Modélisation d'un séchoir à courant parallèle et développement d'un module BOOST", NTV 2010/008, CETIAT, Janvier 2010.
- [10032] Y. LI, « Reprise des fonctionnalités 'Monte Carlo' dans le logiciel 'BOOST' », NT 2010/032, CETIAT Août 2010
- [10053] J. NOËL et J. HEINTZ, "Intégration de modèles liés à des normes dans des modules du logiciel BOOST : Modèles de Météo (MET10), Capteur solaire à eau (CSE10), Puisages (TAP10)", NTV 2010/053, CETIAT, Décembre 2010.
- [10054] J. NOËL, "Documentation et manuel BOOST - Module 'BAL10' 'Ballon ECS'", NTV 2010/054, CETIAT, Décembre 2010.
- [11041] Y. LI et J. NOËL, « Introduction du calcul des coefficients de sensibilité par une méthode de Monte-Carlo dans le logiciel 'BOOST' », NT 2011/041, CETIAT, Juillet 2011.
- [13046] J. NOËL, "Amélioration du modèle d'échangeur pour le modèle de ballon 'BAL13' - Modules BOOST TEX13 et PEX13", NT 2013/046, CETIAT, Novembre 2013.
- [14012] J. NOËL, "Développement d'un outil de simulation des systèmes de récupération d'énergie fatale", NT 2014/012, CETIAT, Septembre 2014.
- [14029] P. JORQUERA-FERRAT, "Simulation d'appareils multifonctions compacts - Métamodule BOOST MULTIF14", NT 2014/029, CETIAT, Décembre 2014.
- [15008] P. JORQUERA FERRAT, "Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques thermiques PV-T - Développement dans BOOST du module PVT15", NT 2015/026, CETIAT, Décembre 2015.
- [15026] J. NOËL, "Développement d'un outil de simulation des centrales d'air", NT 2015/026, CETIAT, Décembre 2015.
- [15036] J. NOËL, "Modélisation des pertes statiques d'un ballon ECS", NT 2015/036, CETIAT, Décembre 2015.
- [15039] J. NOËL, "Modélisation des puisages en collectif d'eau chaude sanitaire", CETIAT, NT 2015/039, Décembre 2015.
- [16006] J. NOËL, "Modélisation '5R3C' d'un bâtiment - Module BOOST 'BAT 16'", NT 2016/006, CETIAT, Décembre 2016.
- [16018] J. NOËL, "Modèle 'Générateur Universel' de chaleur, pour les pompes à chaleur et les chaudières - Module BOOST 'GUN16'", NT 2016/018, CETIAT, Décembre 2016.
- [GUM] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, « Évaluation des données de mesure – Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure », JCGM 100 :2008 (F), Septembre 2008.
- [SCH] R. BRONSON and G. B. COSTA, « Differential equations », Schaum's outlines fourth edition, p. 12, Mc Graw Hill.