

Auteur : **Jean NOEL**

Diffusion : **Tous**

Date : **Juillet 2016**

**Présentation du logiciel BOOST
pour des simulations instationnaires
et des calculs Monte-Carlo**

1. Introduction

1.1. *Présentation de BOOST*

BOOST (« **BO**iler **O**ptimization and **S**imulation **T**ool ») est un environnement de simulation des systèmes, destiné à l'origine aux chaudières, d'émetteurs de chaleur et de régulateurs, et maintenant adapté aux systèmes CVC (HVAC).

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*

Le logiciel BOOST est une application gérant des documents comprenant à la fois des systèmes d'équations, 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 ».

1.3. *Un document ou « module »*

Un document ou « module » possède :

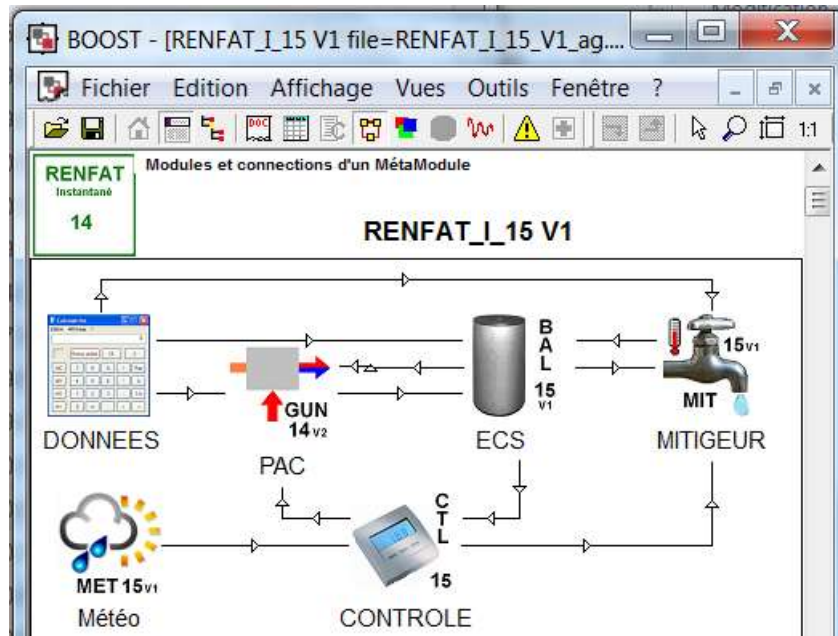
- Les sources (« programmes ») de l'implémentation du système d'équations.
- Les DLL des modules, ainsi que les connexions entre modules.
- Le dernier jeu de données et de résultats.

Chaque document peut lui même contenir d'autres documents, sans autre limitation que la mémoire de l'ordinateur : cette fonctionnalité permet de construire des « méta-modules » constitués d'un assemblage de modules. Par contre, le module ne contient pas les bibliothèques éventuellement utilisées.

2. Les fonctionnalités de calcul dans le logiciel Boost

2.1. *La vue du schéma « blocs-connexions »*

La manipulation des modules se fait selon un schéma « blocs-connexions », c'est-à-dire que les systèmes d'équations sont intégrés dans des blocs et que les flux d'échanges entre blocs sont présents dans les connexions.



Assemblage de modules BOOST, schéma « blocs-connexions »

Cas du modèle d'un système de récupération d'énergie fatale














Chaque module peut être un métamodule, c'est-à-dire un assemblage de blocs. L'arborescence des modules et métamodules est visualisée sous forme d'un « arbre » et ne possède pas de limitation du nombre de niveaux.

D'autre part, la conception des modules est faite de telle sorte que chaque module corresponde bien à un « objet » compréhensible par un ressortissant.

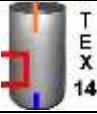



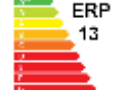
Un méta-module, par l'assemblage de modules élémentaires, permet d'effectuer des simulations sur des configurations réelles (CESI, solaire collectif, PAC en relève de chaudière, etc.).

La liste des modèles disponibles est la suivante :

Liste des modèles en service dans BOOST (juillet 2016)

Systèmes		Utilitaires "Normes"		Utilitaires "Techniques"	
Générateur Eau Chaude PAC+Chaudière		Gestion Matrices RT 2012		Conduite déperditive	
Ballon ECS		Puisages EN 13203, RT 2012		Mitigeur	
Bâtiment		Production Eaux Usées		Volume Tampon	
Capteur Solaire à Eau		Météo RT 2005, 2012		Echangeur	
Centrale de Traitement d'Air					

Liste des principaux métamodèles en service dans BOOST (juillet 2016)

Sur-Couche ou Spécifique	(Méta)modèles "Normes"	Métamodèles "Systèmes"
Sur-couche Ballon ECS	 SIM_EN16147	 RENFAT-I
PINCH	 Modèle PACDS	 RENFAT-A
	ERP	

2.2. La vue du code source

Une vue de BOOST permet la génération d'un programme pour un module. Les **programmes sont écrits en C**, et le logiciel fait appel à un compilateur pour la compilation.

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

```

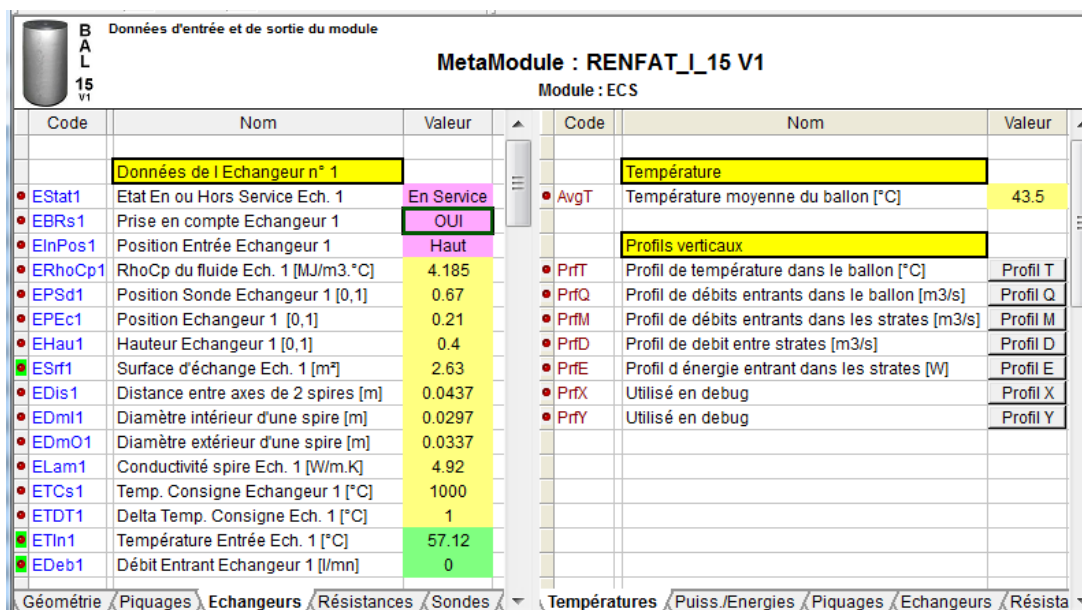
70     double TetaD = TetaR+DT;
71     double Tm = (TetaD+TetaR)/2;    // Température moyenne d'eau
72     int i;
73
74     Qa /= 3600;
75     Qg /= 3600;
76     Pcal *= 1000;
77     PCI *= 1000;
78     PCS *= 1000;
79
80     // Composition des fumées sèches
81     {
82     double x_h2O;
83     Mix.MX_GET_SP_MOL (&Fum, iH2O, &x_h2O);
84     Mix.MX_GET_SP_MOL (&Fum, iCO2, &C02s);    C02s = C02s/ (1-x_h2O) *100;
85     }

```

Exemple de code source d'un module BOOST

2.3. Les écrans de saisie

Les écrans de saisie s'inspirent d'Excel, avec une partie (« gauche ») pour la saisie de données d'entrée et une partie (« droite ») pour l'affichage des sorties de calcul. Les données d'entrée et de sortie peuvent être des valeurs simples de type « réel » ou « booléen », mais également des tableaux ou des « objets » de type « tableaux ».

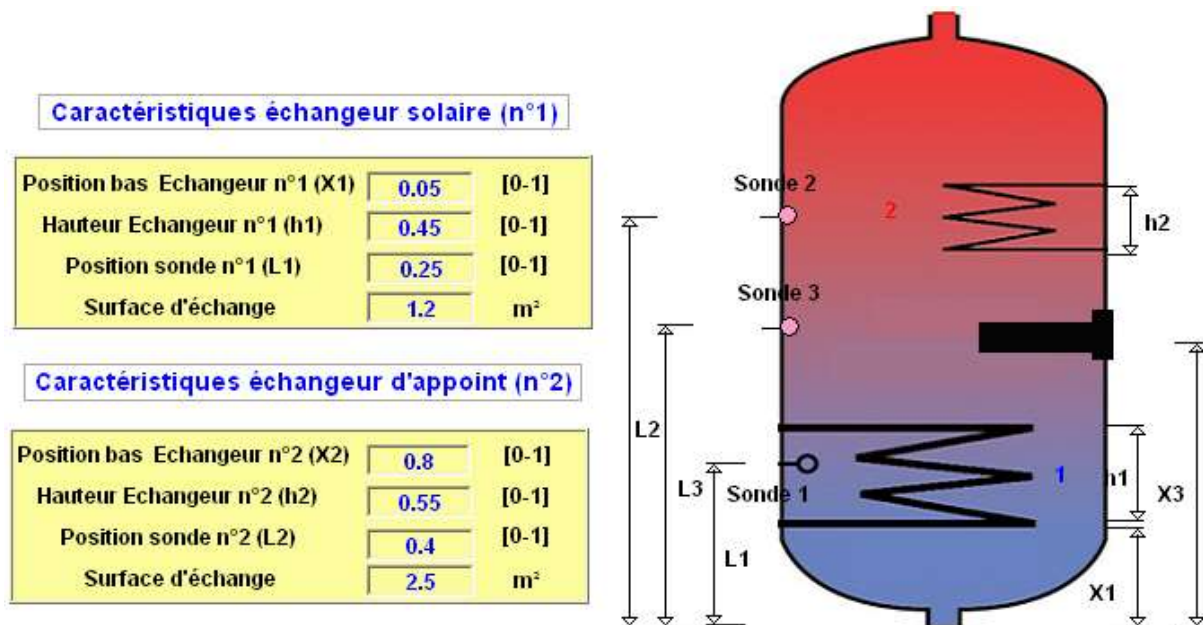


The screenshot shows a software interface with two data tables. The left table is for input data and the right table is for output data. The interface is titled 'Données d'entrée et de sortie du module' and 'MetaModule : RENFAT_I_15 V1'.

Code	Nom	Valeur	Code	Nom	Valeur
Données de l'Echangeur n° 1			Température		
• EStat1	Etat En ou Hors Service Ech. 1	En Service	• AvgT	Température moyenne du ballon [°C]	43.5
• EBRs1	Prise en compte Echangeur 1	OUI	Profils verticaux		
• EInPos1	Position Entrée Echangeur 1	Haut	• PrfT	Profil de température dans le ballon [°C]	Profil T
• ERhoCp1	RhoCp du fluide Ech. 1 [MJ/m3.°C]	4.185	• PrfQ	Profil de débits entrants dans le ballon [m3/s]	Profil Q
• EPSd1	Position Sonde Echangeur 1 [0,1]	0.67	• PrfM	Profil de débits entrants dans les strates [m3/s]	Profil M
• EPEC1	Position Echangeur 1 [0,1]	0.21	• PrfD	Profil de débit entre strates [m3/s]	Profil D
• EHau1	Hauteur Echangeur 1 [0,1]	0.4	• PrfE	Profil d'énergie entrant dans les strates [W]	Profil E
• ESrf1	Surface d'échange Ech. 1 [m²]	2.63	• PrfX	Utilisé en debug	Profil X
• EDis1	Distance entre axes de 2 spires [m]	0.0437	• PrfY	Utilisé en debug	Profil Y
• EDmI1	Diamètre intérieur d'une spire [m]	0.0297			
• EDmO1	Diamètre extérieur d'une spire [m]	0.0337			
• ELam1	Conductivité spire Ech. 1 [W/m.K]	4.92			
• ETCs1	Temp. Consigne Echangeur 1 [°C]	1000			
• ETDt1	Delta Temp. Consigne Ech. 1 [°C]	1			
• ETIn1	Température Entrée Ech. 1 [°C]	57.12			
• EDeb1	Débit Entrant Echangeur 1 [l/mn]	0			

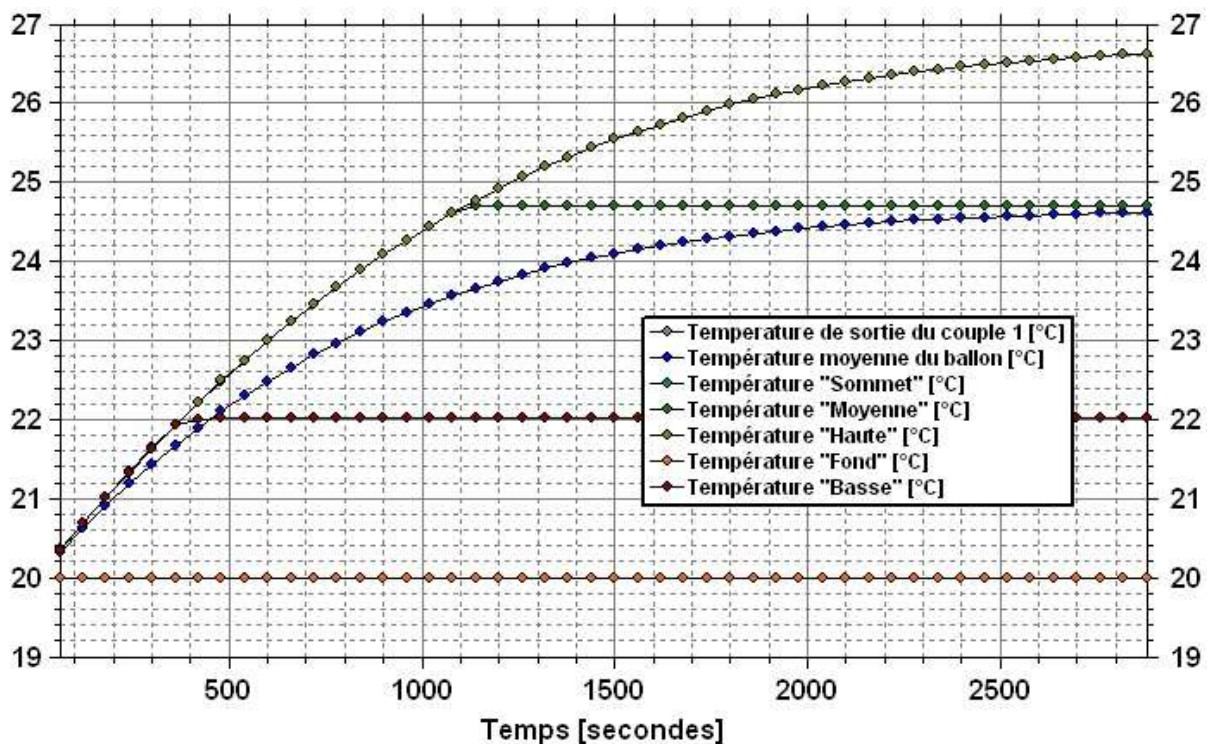
2.4. Le synopsis

Une vue « synopsis » 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.



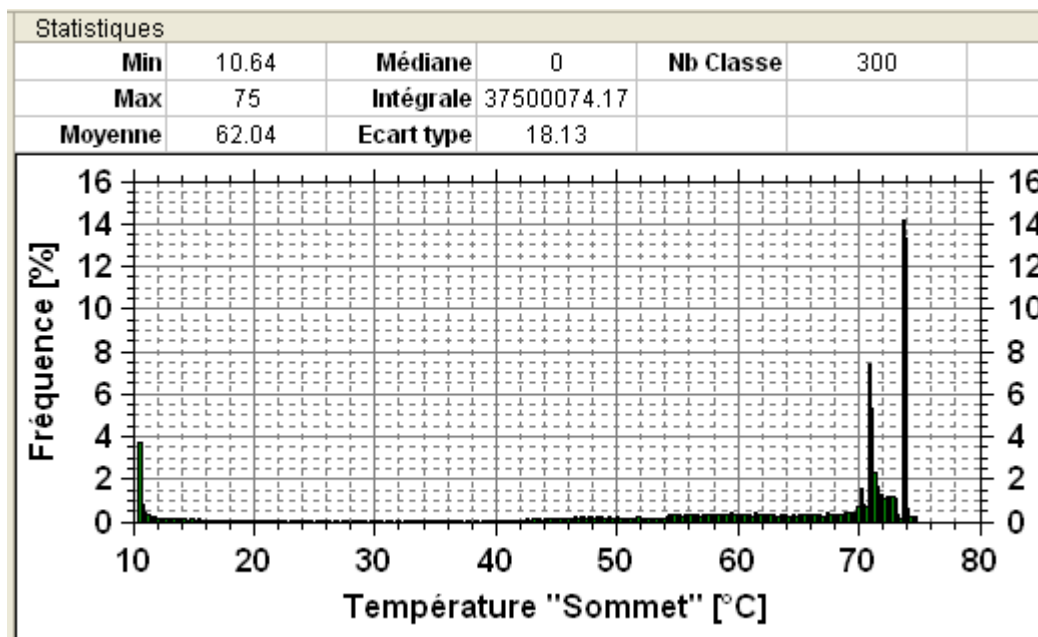
2.5. Le tracé des résultats en fonction du temps

La figure suivante donne un exemple de tracé de courbes de résultats en fonction du temps.



Exemple de tracés de courbes de résultats instationnaires

Un écran spécifique permet de réaliser des traitements statistiques sur les résultats instationnaires (voir la figure suivante).



Exemple de tracés de statistiques à partir de résultats instationnaires

3. Les fonctionnalités « Monte-Carlo » dans le logiciel Boost

3.1. Présentation pour le domaine de la métrologie

3.1.1. Le mesurande et son estimation

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

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 est obtenu 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.

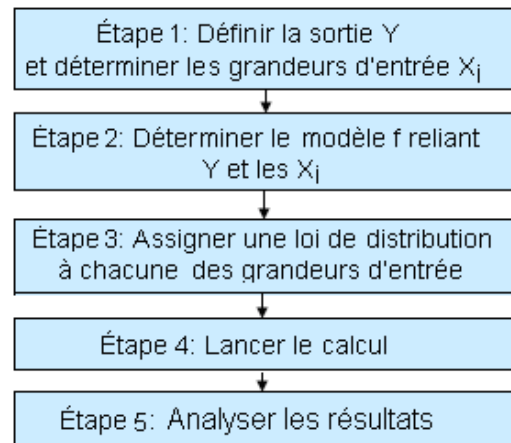
La grandeur à mesurer - le mesurande - est choisie comme sortie du modèle et est appelée la **grandeur de sortie**. Toutes les autres grandeurs intervenant dans le modèle sont des **grandeurs d'entrée** dont les propriétés doivent être prédéfinies afin d'estimer celles du mesurande.

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.

3.1.2. Processus de calcul

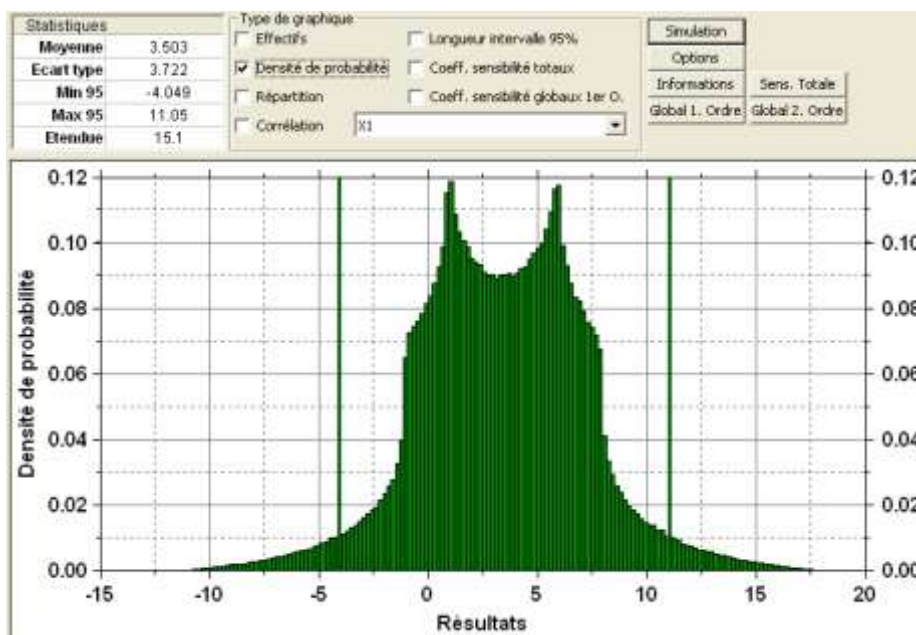
La démarche générale pour estimer les propriétés statistiques de la grandeur de sortie est décrite sur le schéma ci-contre.



Enchaînement des opérations pour une simulation Monte-Carlo

3.2.Exemples d'utilisation

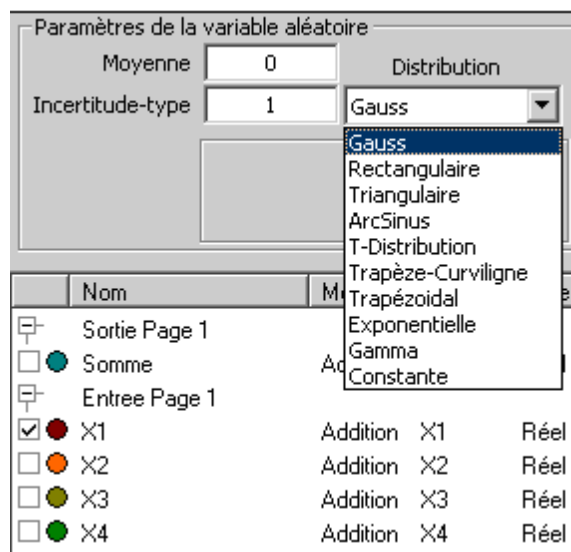
Dans le logiciel BOOST, la vue « **Données** » permet de créer les variables de sortie et les variables aléatoires d'entrée, et la vue « **Source** » permet de définir le code du modèle en langage C. Ensuite, la vue « **Calculs Monte-Carlo** » permet de définir les données d'entrée et de visualiser les sorties ([MAB]).



Vue « Monte-Carlo » sur le cas du modèle d'Ishigami

Dans cette vue « Monte-Carlo », une distribution est associée à chacune des variables aléatoires d'entrée X_i .

Cette vue « Monte-Carlo » permet également de choisir ou non le calcul des coefficients de sensibilité globaux (ce calcul est gourmand en temps) : coefficients **totaux**, **globaux de premier et second ordre**.



Sélection des distrib. associées aux variables d'entrée

Toujours dans cette vue « Monte-Carlo », 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 par la case à cocher située à gauche de la pastille de couleur et du nom de variable.

	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

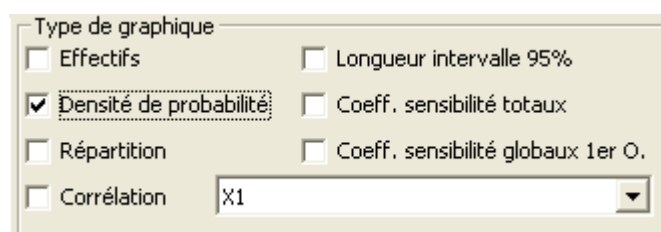
Choix de la variable affichée

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%).

Statistiques	
Moyenne	-0.0001043
Ecart type	2
Min 95	-3.914
Max 95	3.918
Etendue	7.832

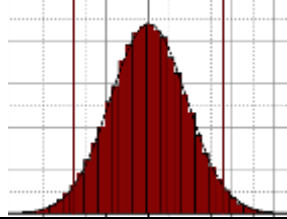

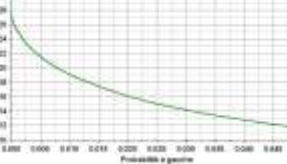
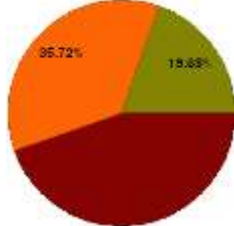
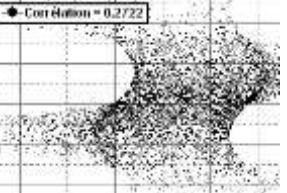
Statistiques affichées

Types de graphique : certains résultats peuvent être visualisés par graphes, selon les cases cochées pour le type de graphique (voir figure ci-contre).



Choix du type de graphique

Le tableau suivant présente la liste des types de graphiques :

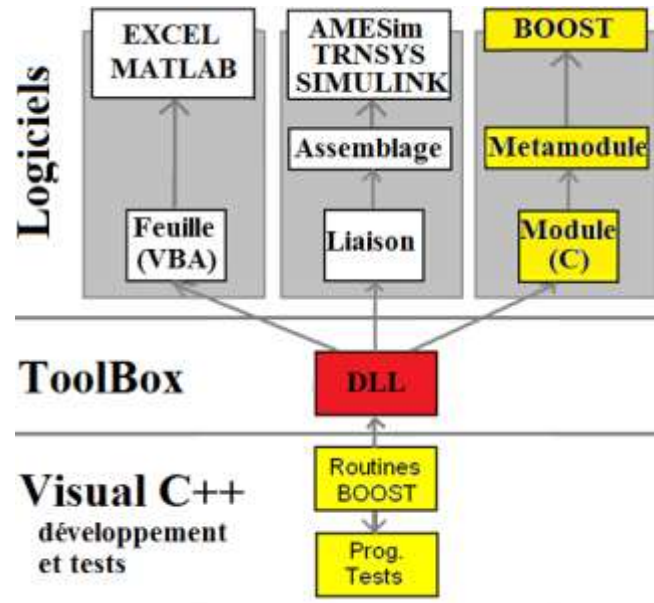
Type de graphique	Description	Affichage Ecran
Densité de probabilité ou Effectifs	Tracé de la densité de probabilité ou des effectifs (« nombre d'observations appartenant à une classe spécifiée » [GUM] C.2.17), sous forme d'histogramme.	
Fonction de répartition	Tracé de la fonction de répartition , qui donne la probabilité que « la variable aléatoire X soit inférieure ou égale à x » ([GUM] C.2.4), x étant l'abscisse du tracé.	
Longueur de l'intervalle de confiance	Tracé de la longueur de l' intervalle de confiance bilatéral (voir plus loin).	
Coefficients de sensibilité totaux et globaux	Tracé des coefficients de sensibilité totaux et globaux du 1^{er} et 2^{eme} ordre , sous forme de camembert. Tracé en pourcentages ou en valeurs (alternance par un click à nouveau).	
Corrélation	Présentation des résultats sous forme d'un nuage de points, pour l'évaluation d'une corrélation entre deux variables.	

Exemples d'affichages graphiques des résultats issus des calculs Monte-Carlo

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

4. La stratégie de modélisation/simulation du CETIAT

La stratégie de modélisation/simulation consiste à développer des « briques de bases » et de les tester de façon unitaire ou globale dans des programmes de tests dédiés, et de les intégrer dans une seule DLL appellable depuis le logiciel BOOST du CETIAT, ou par des outils commerciaux (Matlab, TRNSYS, LavView, outils Modelica) et depuis un ensemble de logiciels spécifiques à créer (SimBOOST), correspondant chacun par exemple à un métamodule d'EIG (CESCAI, CESCII, PAC2S, etc.).



Place de BOOST dans la stratégie de modélisation/simulation du CETIAT

Cette procédure permet de séparer les phases de mise au point des modèles des phases de simulation, et de pouvoir choisir l'environnement le plus adapté.