



# LMCS 2014

## Logiciels pour la modélisation et le calcul scientifique

Vendredi 4 avril 2014, site d'EDF à Chatou (78), France

**Conférencier :** Nicolas GACHADOIT

**Organisme :** Maplesoft

**Calcul haute performance : validation statistique du contrôle d'une éolienne**

### Introduction

Dans le contexte des « Smart Grids », le contrôle de l'orientation et de la vitesse de rotation des éoliennes est très important pour que l'énergie électrique fournie soit la plus constante possible malgré des conditions de vent très variables.

Les modèles de vent étant essentiellement statistiques, la validation des stratégies de contrôle d'une éolienne nécessite de réaliser un grand nombre de simulations Monte-Carlo basées sur des lois de probabilité régissant la direction et la vitesse du vent.

L'objectif de cette présentation est de montrer l'association de différentes techniques de calcul haute performance permettant de réduire considérablement le temps de simulation global. Ces techniques résident principalement dans la génération de modèles compilés (à partir de code généré sur la base de jeux d'équations optimisées) et dans des simulations parallèles distribuées sur des grilles de calculateurs.

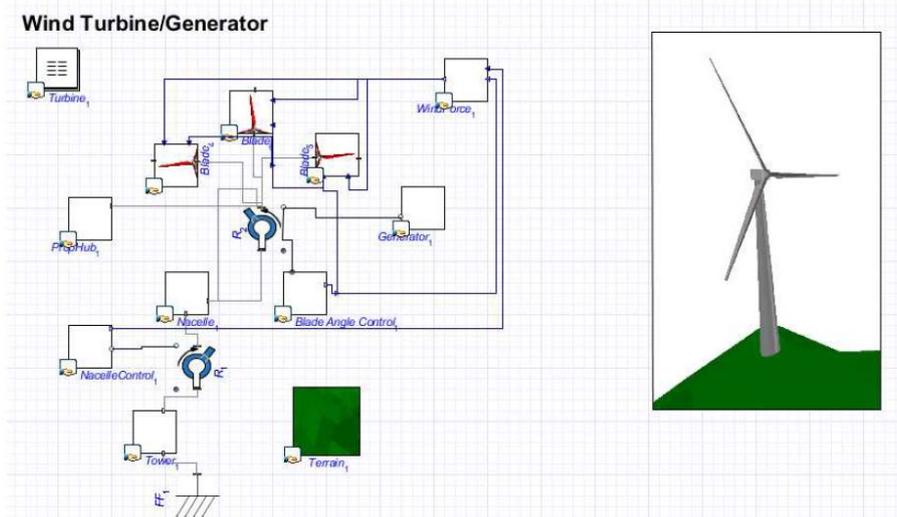
La présentation détaille les différents points suivant :

- Présentation du modèle d'éolienne réalisé avec MapleSim, logiciel de modélisation physique multi-domaine basé sur Modelica
- Simulation interactive, mesure et analyse des performances
- Réduction du temps de simulation d'un facteur 20 par la création d'une procédure compilée à partir de code C généré sur la base d'équations optimisées
- Déploiement d'un grand nombre de simulations parallèles distribuées sur une grille de calculateurs, en utilisant Maple et sa Grid Computing Toolbox

## Modèle d'éolienne réalisé dans MapleSim

MapleSim est un logiciel de modélisation physique multi-domaine basé sur Modelica. Il permet de réaliser facilement un modèle d'éolienne, combinant les domaines suivants :

- Mécanique poly-articulée
- Electricité
- Signal et contrôle



Ce modèle comprend différents sous-systèmes représentant les éléments essentiels de l'éolienne et leur contrôle, entre autres :

- La motorisation et le contrôle de l'orientation du pylône en fonction de la direction du vent
- La motorisation et le contrôle de l'orientation des pales en fonction de la vitesse du vent
- La génération de la force du vent en fonction de distributions statistiques sur sa vitesse et sa direction
- La mesure de l'énergie électrique produite

## Simulation interactive

Le mode de simulation interactive est intéressant dans la mesure où il permet facilement de mettre au point le modèle et de définir les différentes sorties qui seront exploitées dans les phases de validation ultérieures basées sur des simulations Monte-Carlo.

Dans ce mode, chaque simulation est précédée par une phase de simplification symbolique d'équations, ce qui permet d'avoir des temps d'exécution très corrects, et même plus rapides que le temps-réel, puisque 200 s de temps réel prennent environ 40 s de temps machine. Cependant, on ne peut pas raisonnablement utiliser ce mode pour faire des simulations Monte-Carlo, pour les deux raisons principales suivantes :

- L'exécution des séries de simulations doit être automatisée, ce qui n'est pas compatible avec un mode interactif
- Un grand nombre de simulations d'une durée de 40 s chacune prendrait trop de temps

Le premier point pourrait être résolu facilement car il est possible de lancer des simulations par programme depuis Maple, sur lequel repose MapleSim.

Mais pour le second point, il est indispensable d'utiliser des techniques permettant de réduire drastiquement les temps d'exécution.

## Génération et exécution d'une procédure compilée

MapleSim dispose d'une bibliothèque de fonctions (une API) utilisables depuis Maple afin de réaliser par programme des manipulations sur les modèles (paramétrage, analyse, simulation,...).

Parmi ces fonctions, la commande « GetCompiledProc » nous sera très utile car elle permet de générer une procédure compilée directement appellable depuis Maple. Plus précisément, les étapes suivantes sont réalisées en interne du logiciel pour la création de cette procédure :

- Génération d'un jeu d'équations à partir du modèle
- Simplification symbolique exacte des équations en utilisant le moteur de calcul de Maple
- Génération de code C optimisé à partir des équations
- Compilation sous la forme d'une librairie partagée appellable par Maple

En utilisant les outils de profilage disponibles avec Maple, la mesure du temps d'exécution de cette procédure compilée nous montre une accélération d'un facteur 20 : 200 s de temps réel prennent environ 2 s de temps machine (au lieu de 40 s en simulation interactive).

L'API MapleSim intégrant par ailleurs des fonctions permettant de gérer facilement les simulations Monte-Carlo, il est alors possible de créer dans Maple le processus d'exécution suivant :

- Génération de données d'entrée et de paramètres basés sur des données statistiques
- Exécution rapide d'un grand nombre de simulations
- Récupération et analyse des résultats

Cependant, bien que chaque exécution soit très rapide, elles sont toutes réalisées les unes à la suite des autres et ne profitent pas de l'architecture multi-cœur ou multi-cpu des ordinateurs modernes.

### Distribution des simulations sur une grille de calculateurs

La dernière étape dans la cette recherche de diminution du temps de calcul réside dans la distribution des simulations sur une « grille de calculateurs ». Nous utilisons ici un terme générique car il peut prendre plusieurs formes :

- Un ordinateur « classique » avec plusieurs cœurs
- Un ordinateur avec plusieurs processeurs
- Plusieurs ordinateurs, eux-mêmes dotés de plusieurs cœurs ou processeurs

Pour simplifier, nous baptiserons « nœud de calcul » une entité capable de réaliser une simulation de façon indépendante des autres. Par exemple, nous dirons d'un ordinateur classique à 8 cœurs qu'il possède 8 nœuds de calcul.

En exécutant chaque simulation sur un nœud, nous pouvons donc diminuer le temps global de calcul puisque plusieurs simulations pourront être exécutées en parallèle. Nous avons deux possibilités :

- Utiliser les fonctionnalités intégrées à Maple
- Utiliser une boîte à outils spécifique, la Grid Computing Toolbox

Les deux cas de figure se mettent en œuvre exactement de la même manière car Maple intègre en standard une version limitée de la Grid Computing Toolbox. La limitation réside dans le type et le nombre de cœurs : exclusivement ceux de l'ordinateur sur lequel est installé Maple. Ceci permet de mettre au point les algorithmes de parallélisation sur un ordinateur de développement avant (éventuellement) de soumettre l'ensemble des simulations sur un grand nombre de machines constituant une « vraie » grille de calcul.

Comme il n'est ici pas très pertinent de donner un facteur d'accélération puisque celui-ci dépend du nombre de cœurs utilisés, nous nous attacherons plutôt, dans cette dernière partie de la présentation, à expliquer l'algorithme utilisé afin de répartir un grand nombre de simulations sur un nombre de cœurs inférieur.

Enfin, nous n'oublierons pas d'analyser les résultats obtenus afin de montrer l'influence de différents paramètres des régulateurs sur la stabilité de fourniture de l'énergie électrique par l'éolienne.