



## Rapport de synthèse

**Action "Thermoptim" dans le cadre d'UNIT  
réalisée par le Groupe des Ecoles des Mines**

**juillet 2005**

**Porteur du projet : R. Gicquel  
Ecole des Mines de Paris**

## 1. Introduction

Le rapport du Comité Technique du 7 avril 2005 a présenté :

- Un résumé de l'action Thermoptim.
- Les atouts de Thermoptim vis à vis d'UNIT.
- L'état d'avancement des activités prévues dans le cadre de la première phase.
- Les activités envisagées dans le cadre de la deuxième phase.
- En annexe, le programme de travail UNIT-Thermoptim de la première phase.

Le présent rapport de synthèse, établi au 28 juillet 2005, rend compte de l'exécution du programme de travail UNIT-Thermoptim phase 1 (le contenu du programme de travail est joint en annexe 1). Il représente le **cinquième livrable** de la convention régissant le projet Thermoptim-UNIT.

## 2. Avancement des activités prévues dans le cadre de la première phase

Conformément au calendrier initialement arrêté, l'ensemble du programme de travail de la phase 1 a été terminé fin juillet.

### 2.1. Organisation du partage d'expériences pédagogiques

A la suite de la décision prise en décembre 2004 par le CA d'UNIT de soutenir Thermoptim, le porteur de projet s'est adressé en janvier et février 2005 à l'ensemble des partenaires pour identifier ceux qui étaient intéressés par ce travail et leur demander de nommer des correspondants Thermoptim dans leurs établissements.

Une liste d'une douzaine de membres a ainsi été établie, et des premiers contacts ont permis de les informer du programme de travail envisagé. Une première téléconférence a été organisée le 19 avril.

Son compte rendu est accessible en ligne à l'adresse suivante : [http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/UNIT/documents\\_unit/telereunion\\_Thermoptim\\_19\\_%2004\\_05.pdf](http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/UNIT/documents_unit/telereunion_Thermoptim_19_%2004_05.pdf).

La liste des composants à développer, proposée mi-février à la communauté, n'a fait l'objet d'aucune remise en cause lors de cette réunion.

Le principe d'un site communautaire avait été retenu comme moyen d'une part de fournir à la communauté UNIT l'accès aux ressources pédagogiques existantes et en cours de développement, et d'autre part de communiquer avec l'extérieur.

Réalisé par S. Rousseau, il constitue le **premier livrable** de la convention régissant le projet Thermoptim-UNIT, et est accessible depuis le 9 mai, à partir du portail UNIT sous la rubrique "Communauté d'enseignants", ou à l'adresse suivante :

<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/UNIT/CommunauteUnit.htm>

Ce site comprend trois espaces :

- L'espace *Communauté UNIT*, regroupant l'ensemble des informations relatives à la vie du projet Thermoptim au sein d'UNIT.
- L'espace *Approche Thermoptim*, présentant la pédagogie retenue pour l'enseignement de l'énergétique, et donnant accès à l'ensemble des ressources numériques de Thermoptim et des modules de formation Diapason.
- L'espace *Formation pour l'Industrie*, permettant un accès rapide aux ressources présentant un intérêt immédiat pour les industriels.

Un stage LIESSE sur Thermoptim a été organisé le 19 mai 2005. 24 enseignants de CPGE y étaient inscrits.

La communauté d'enseignants a été étroitement associée à la préparation de la proposition déposée au titre de l'appel à projets 2005, qui a été retenue le 6 juillet par le CA d'UNIT.

Une deuxième réunion a été organisée le 8 juillet à Sophia Antipolis, juste à la suite de la réunion annuelle du Club ALET. Son compte-rendu est en cours de validation par les participants, et sera mis en ligne début septembre.

Ce compte-rendu et celui de la télé-réunion du 19 avril constituent le **quatrième livrable** de la convention régissant le projet Thermoptim-UNIT.

## 2.2. Amélioration de la documentation

### *Supports écrits*

La réflexion critique sur la documentation existante, écrite au cours des huit dernières années, a montré qu'il serait opportun de simplifier la présentation d'ensemble en regroupant certaines notes, et que par ailleurs certains documents pouvaient avantageusement être complétés par des séances Diapason.

Dorénavant, la documentation de Thermoptim sera essentiellement composée du manuel de référence (en trois tomes), des notices de prise en mains (correspondant à quatre exemples de base), et des trois manuels de référence des diagrammes interactifs. Elle a été mise à jour pour la version 1.5 de Thermoptim, et les notices de prise en mains ont été enrichies.

Le premier tome du manuel de référence présente le progiciel dans son ensemble, l'éditeur de schémas, l'utilisation de la macro Excel de post-traitement, et la méthode d'optimisation. Le second tome traite du simulateur (écrans des différents types primitifs du progiciel et outils disponibles dans l'environnement de modélisation) et de la méthodologie de construction et de vérification des

modèles. Le troisième tome est dédié à la conception de classes externes. Les deux premiers tomes s'adressent surtout à des utilisateurs, et le troisième à des développeurs.

### *Supports sonorisés*

Une séance Diapason d'introduction à l'utilisation et à la programmation des classes externes a été réalisée :

[http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/SE/seances/S07\\_ext/seance.html](http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/SE/seances/S07_ext/seance.html)

Une séance Diapason de présentation d'une communication sur l'Enseignement en ligne de l'énergétique avec les modules sonorisés Diapason (référence [1]) a été réalisée, ainsi qu'une autre centrée sur le concepteur de fichiers xml pour modules Diapason. Leurs adresses sont les suivantes :

<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/Diapason/seances/PresDiapason/seance.html>.

<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/Diapason/seances/ConstrDiapason/seance.html>.

### *Supports web*

Une page web, donnant accès aux ressources permettant d'installer l'environnement de développement JCreator et de développer des classes externes est accessible depuis le 14 avril à partir du site communautaire, ou directement à l'adresse suivante :

<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/ThoptExterne/accueil.html>

Cette page a été actualisée fin juillet pour donner accès au code complet mis à jour et documenté permettant de développer des classes externes de Thermoptim, version 1.5. Ce code est le **second délivrable** de la convention régissant le projet Thermoptim-UNIT.

Les notes sur le mécanisme permettant de définir des mélanges de fluides réels dans Thermoptim à partir de classes externes (voir section 2.4) ont été intégrées au tome 3 de la documentation de Thermoptim.

## **2.3. Développement de nouveaux composants pédagogiques**

Des séances Diapason de FAD sonorisées ont été réalisées et mises en ligne sur les sujets suivants :

- Conversions thermodynamiques des énergies renouvelables (séance ENR01, 35 étapes), avec exercices/projets :  
<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/SE/seances/ENR01/seance.html>
- Généralités sur les piles à combustible (séance S60, 11 étapes).
- Piles à combustible SOFC (séances S61 à S63, 52 étapes), avec exercices/projets.
- Reformage et piles à combustible PEMFC (séances S64 et S65, 50 étapes), avec exercices/projets :  
<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/SE/paco/accueil.html> (regroupe les séances S60 à S65)
- Capture du CO<sub>2</sub> par un cycle à absorption par le méthanol (séance S71, 52 étapes) :  
<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/SE/seances/S071/seance.html>

Pour cela, treize nouvelles classes externes ont été mises au point. Ces développements constituent le **troisième livrable** de la convention régissant le projet Thermoptim-UNIT.

## 2.4. Développements informatiques

Comme convenu, le travail a porté sur les trois points suivants :

- L'amélioration de l'API des classes externes a fait l'objet d'une reconception partielle, avec introduction de nouvelles interfaces. Les codes des classes de base du paquet extThopt et leur JavaDoc sont fournis avec l'environnement de développement des classes externes sous JCreator.
- La gestion des exceptions provenant d'une non-conformité des classes externes à ce qu'attend Thermoptim a été améliorée pour que les développeurs soient mieux guidés dans leur mise au point des classes externes.
- Le couplage de Thermoptim au serveur de propriétés thermodynamiques TEP Thermosoft a été réalisé et testé sur plusieurs exemples. Il ne sera cependant diffusé que fin 2005, car les conditions de distribution de TEP Thermosoft ne sont pas encore complètement définies.

## 2.5. Diffusion internationale

Une communication sur l'Enseignement en ligne de l'énergétique avec les modules sonorisés Diapason (référence [1]) a été présentée au *Colloque Inter-Universitaire Franco-Québécois*, qui s'est déroulé du 23 au 25 mai 2005 à Saint Malo.

Le projet UNIT-Thermoptim a été jugé particulièrement intéressant par le programme *TIC et appropriation des savoirs de l'Agence Universitaire de la Francophonie*, qui envisage d'ici fin 2005 un déploiement au **Sénégal de nos ressources numériques**.

Afin de pouvoir plus facilement convaincre nos collègues étrangers de l'intérêt de notre approche de la pédagogie de la thermodynamique appliquée, la séance Diapason de présentation des cycles à vapeur (S26) a été traduite en anglais, en espagnol et en brésilien :

<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/Diapason/seances/S26En/seance.html>

<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/Diapason/seances/S26Es/seance.html>

<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/Diapason/seances/S26Br/seance.html>

Nous avons aussi jugé utile de traduire en anglais la séance de présentation des modules Diapason correspondant à la référence [1] :

<http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/Diapason/seances/PresDiapasonEn/seance.html>

La traduction en anglais et en espagnol (au minimum) du noyau du site communautaire débutera très prochainement.

Nous espérons que ces moyens nous permettront de renforcer la diffusion internationale, aujourd'hui relativement restreinte.

La documentation est actuellement disponible en version anglaise pour seulement les deux tiers du total environ. Des contacts ont été pris avec des traducteurs pour réaliser la version anglaise de la documentation restructurée et mise à jour comme indiqué section 2.2.

Alors que les écrans du progiciel seront disponibles dans autant de langues que possible (aujourd'hui en allemand, anglais, catalan, espagnol, français, italien et portugais), il est prévu de ne diffuser des versions complètes de la documentation qu'en français et en anglais.

Un utilisateur pourra ainsi se référer pour la documentation à celle de ces deux langues qu'il maîtrise le mieux, sachant qu'il disposera d'un choix beaucoup plus large pour les écrans.

### **3. Activités envisagées dans le cadre de la deuxième phase**

Les objectifs spécifiques du projet déposé au titre de 2005, et retenu par le CA lors de sa séance du 6 juillet, sont de compléter ce qui a été déjà été réalisé :

- En mettant au point une dizaine de nouvelles classes externes permettant de représenter de nouveaux composants pour des applications choisies parmi les thèmes suivants :
  - électrolyse,
  - indicateurs Gaz à Effet de Serre,
  - tours de refroidissement et condenseurs évaporatifs,
  - propulsion aéronautique,
  - capture du CO<sub>2</sub>,
  - cycles à adsorption,avec des séances de FAD sonorisées (modules Diapason).
- En réalisant 6 nouvelles fiches-guides de TD pour faciliter la tâche des enseignants, parmi les thèmes suivants :
  - piles à combustible,
  - reformage,
  - centrales nucléaires,
  - turboréacteurs,
  - cogénération,
  - cogénération en papeterie,
  - traitement de l'air,
  - climatisation.
- En effectuant des développements complémentaires de soutien sur le plan informatique, pour l'animation de la communauté, et en matière de diffusion internationale.

Une téléconférence destinée à programmer le travail de la phase 2 est prévue en septembre.

De plus, un stage LIESSE sur le "*Fonctionnement thermodynamique des différents types de centrales thermiques à flamme et nucléaires*" sera organisé le 2 novembre 2005 en réponse à une demande de l'UPS (Union des Professeurs de Spéciales).

## 4. Références

- [1] GICQUEL, R. Enseignement en ligne de l'énergétique avec les modules sonorisés Diapason, Colloque Inter-Universitaire Franco-Québécois, Saint Malo, mai 2005.

# Annexe 1 : programme de travail UNIT-Thermoptim phase 1

## Introduction

Le principal objectif que nous nous fixons est d'étendre le champ couvert par Thermoptim, tant sur le plan disciplinaire qu'en terme de ressources pédagogiques, afin que l'outil permette de modéliser des filières énergétiques capables de répondre aux défis à long terme (réduction des émissions, développement durable). Cela suppose de mettre au point, sous forme de classes externes, de nouveaux composants capables de représenter des opérations unitaires relevant du Génie des Procédés et non plus seulement de l'énergétique.

Les activités seront les suivantes :

- Compléter la modélothèque de composants externes de Thermoptim par un ensemble de modules bien documentés avec des exemples d'utilisations pédagogiques, portant principalement sur des **composants énergétiques à faible impact environnemental**.
- Mettre sur pied à cet effet un club de développeurs de composants pédagogiques pour Thermoptim.
- Renforcer la diffusion internationale de Thermoptim.

Les composants pédagogiques seront de différents types :

- des nouveaux modèles Thermoptim à faible impact environnemental bien documentés (il s'agit de classes externes au sens du progiciel),
- des exemples d'installations énergétiques complètes utilisant ces modèles,
- des séances Diapason bien choisies (à la fois à destination des élèves et des enseignants),
- des activités pédagogiques connexes (exercices, projets, auto-évaluations...).

Les tâches à exécuter peuvent être regroupées en cinq grandes catégories :

- **Organisation du partage d'expériences pédagogiques.**
- **Amélioration de la documentation.**
- **Développement de nouveaux composants pédagogiques.**
- **Développements informatiques.**
- **Diffusion internationale.**

Bien que les développements prévus s'inscrivent dans un programme pluriannuel, le budget accordé au titre de 2004 n'en couvre qu'une partie, appelée première phase dans cette note. Le programme de travail envisagé pour cette phase est indiqué page suivante, et les livrables ci-dessous.



## Délivrables

- Site communautaire.
- Code complet mis à jour et documenté permettant de développer des classes externes de Thermoptim, version 1.5.
- Une dizaine de nouveaux modèles Thermoptim (classes externes) choisis en accord avec la communauté, ainsi que des composants pédagogiques associés.
- Compte-rendus des réunions (ou téléconférences) de la communauté.
- Un rapport de synthèse sur l'ensemble du travail réalisé.

## Délai

Juillet 2005

## Producteurs

Essentiellement le GEM (Mines de Paris, de Nantes et de Douai) et la communauté de développeurs.

## Travail à faire pour la première phase

### *Organisation du partage d'expériences pédagogiques*

- Identification des membres intéressés (développeurs et utilisateurs).
- Réunion de lancement (mars), puis d'avancement en juin.
- Sélection des composants à développer.
- Conception du site communautaire (en liaison avec Vincent Bonnamy).

### *Amélioration de la documentation*

- Réflexion critique sur la documentation existante (pour développeurs et utilisateurs).
- Réalisation de séances Diapason sur le mécanisme des classes externes et sur de nouveaux exemples.

### *Développement de nouveaux composants pédagogiques*

La communauté développera une dizaine de nouveaux modèles Thermoptim (classes externes) relevant des domaines d'application suivants, ainsi que des composants pédagogiques associés :

- piles à combustible
- reformage
- capture du CO<sub>2</sub>
- cogénération

- ENR (solaire, géothermie, OTEC...)
- combustion de la biomasse

### ***Développements informatiques***

- Amélioration de l'API des classes externes.
- Gestion des exceptions provenant d'une non-conformité des classes externes à ce qu'attend Thermoptim.
- Extension de l'interopérabilité des classes externes (couplage avec une bibliothèque existante en C, C++ ou Delphi).

### ***Diffusion internationale***

- Identification de correspondants étrangers intéressés par notre approche pédagogique.
- Traduction-adaptation de documents particulièrement intéressants.
- Internationalisation du site communautaire (en liaison avec Vincent Bonnamy).
- Soumission de communications à des colloques internationaux sur l'e-learning.