

Le portail Thermoptim-UNIT, un environnement pédagogique communautaire polyvalent pour la formation initiale ou continue en énergétique

R. Gicquel, Professeur, Ecole des Mines de Paris

Nous sommes confrontés à un nouveau défi : former des étudiants capables de traiter des problèmes plus complexes malgré un bagage scientifique plus léger, et ceci dans un volume horaire réduit. L'utilisation pédagogique des TICE et notamment des simulateurs peut être la solution à ce problème, dans la mesure où elle est aite judicieusement. Considérée jusqu'ici comme particulièrement difficile par des générations d'étudiants et d'ingénieurs, la thermodynamique appliquée aux systèmes énergétiques dispose désormais d'une méthode d'apprentissage originale et extrêmement simplifiée mettant en œuvre ces nouvelles technologies et aujourd'hui utilisé dans plus de cent vingt établissements d'enseignement supérieur, aussi bien en premier cycle (CPGE et IUT) qu'en second ou troisième cycle (écoles d'ingénieur, universités) ou encore en formation continue. Cette présentation analyse les spécificités de l'approche pédagogique retenue, détaille la palette de ressources rassemblées dans le portail Thermoptim-UNIT, et fournit les principaux résultats obtenus.

Spécificités de l'approche pédagogique

Notre démarche a pour origine les difficultés que nous avons rencontrées lorsque nous avons commencé à enseigner la discipline : nous nous sommes trouvés en situation d'échec vis à vis des objectifs que nous nous étions fixés et que les approches pédagogiques classiques ne pouvaient pas permettre d'atteindre, à savoir rendre nos élèves capables, à l'issue du cours, de s'attaquer aux défis actuels de l'énergétique : réduction de l'impact environnemental des technologies, amélioration des rendements dans des conditions économiques acceptables...

En caricaturant à peine, on pourrait dire que les approches classiques sont confrontées à un dilemme, les modèles auxquels elles conduisent étant soit irréalistes, soit incalculables. Compte tenu des difficultés qu'il y a à calculer avec précision les propriétés des fluides thermodynamiques, elles conduisent en effet généralement soit à faire des hypothèses un peu trop simplificatrices, soit à adopter des méthodes fastidieuses à mettre en pratique : c'est ainsi par exemple que, dans presque tous les enseignements supérieurs de premier et deuxième cycle au monde, les moteurs à combustion interne sont analysés avec l'hypothèse que le fluide technique est de l'air, lui-même supposé se comporter comme un gaz parfait. Quant aux calculs des cycles de réfrigération ou à vapeur, ils sont faits en utilisant soit des tables numériques nécessitant des interpolations rébarbatives soit des diagrammes papier relativement imprécis. Il en résulte deux écueils qui ont pour effet de démotiver les étudiants :

- les hypothèses de calcul étant trop simplistes, ils ne comprennent pas l'intérêt pratique des modèles qu'ils élaborent, ceux-ci étant très éloignés de la réalité ;
- les calculs précis des cycles étant fastidieux, ils sont rebutés par la discipline.

De surcroît, le temps consacré à la mise en équation des propriétés des fluides et du comportement des composants élémentaires représente l'essentiel du cours, de telle sorte que les élèves ne peuvent *in fine* travailler que sur les exemples de base de la discipline, sans aborder l'étude des cycles innovants, pour laquelle ils ne sont pas outillés sur le plan méthodologique.

Le renouveau pédagogique que nous avons introduit est basé sur un **déplacement du savoir acquis par les élèves**¹. La mise en équation des évolutions subies par les fluides est drastiquement réduite, les calculs étant effectués par le simulateur sans que les apprenants aient besoin d'en connaître les détails. Ils consacrent en revanche l'essentiel du temps d'une part à l'apprentissage des technologies, et d'autre part à la réflexion sur les architectures des cycles thermodynamiques aussi bien classiques que novateurs, bâtissant graphiquement et paramétrant des modèles des diverses technologies énergétiques.

Chronologiquement, nous avons commencé par développer le progiciel Thermoptim. Très rapidement, il est apparu que son utilisation induisait un changement radical dans l'attitude des élèves vis à vis de la discipline : nous espérions une amélioration, mais sans imaginer qu'elle serait aussi nette. Pour tenter de comprendre l'accueil enthousiaste fait à cet outil à la fois par les élèves et par de nombreux collègues, nous avons mené

¹ Des explications détaillées sur la nouvelle pédagogie sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.thermoptim.org/sections/enseignement/pedagogie/presentation-methode>

quelques explorations sur la didactique des sciences et le cognitivisme. Considérant que les réponses à nos questions pourraient intéresser d'autres collègues, nous avons publié les résultats qui nous paraissent les plus pertinents dans un article en deux volets du Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique-Chimie [1], ceux dont l'influence vis à vis de nos propres développements a été la plus importante étant d'une part la théorie de la charge cognitive due à Sweller [2,3], et d'autre part le modèle RTM(E) dans lequel les connaissances à transmettre sont regroupées en quatre grandes catégories reliées entre elles, appelées la Réalité, la Théorie, les Méthodes (et les Exemples). Par Réalité, nous entendons le monde réel, tel qu'il existe concrètement, c'est-à-dire la nature et la technologie, les faits observés, la matière, le terrain...

L'étude de cette **Réalité** par l'observation, l'analyse et l'expérimentation, permet de développer ou d'affiner la **Théorie**, c'est-à-dire un schéma explicatif mettant en évidence les ressemblances entre les différentes observations de la Réalité, et les expliquant de manière à la fois cohérente et aussi simple et générique que possible. La Théorie d'une part constitue ainsi une grille de lecture de la Réalité, et d'autre part sert de guide pour l'élaboration de **Méthodes** (et/ou d'outils opérationnels) de résolution de problèmes, faisant si nécessaire appel à des concepts spécifiques. Cette typologie nous paraît structurer de manière très féconde les connaissances relatives à une discipline scientifique, surtout si elle est complétée par les principaux **Exemples** d'application, qui illustrent très concrètement comment résoudre (grâce aux Méthodes et dans le cadre d'une Théorie) une classe de problèmes relative à un aspect particulier (de la Réalité).

Sur la base d'une analyse détaillée des capacités de traitement de l'information de l'homme, la **théorie de la charge cognitive** montre quant à elle que, **la mémoire de travail à court terme étant limitée** (nous ne pouvons traiter simultanément que peu d'éléments et devons leur attribuer un sens dans un temps très bref), **les capacités humaines d'apprentissage sont réduites**. Pour contourner cette difficulté, deux mécanismes sont utilisés :

- l'**acquisition des schèmes**, c'est-à-dire la construction de modèles mentaux explicatifs appropriés, permet de décomposer l'information en éléments significatifs mémorisables ;
- une fois les schèmes bien structurés, l'**automatisation des tâches** (règles procédurales) résulte ensuite de la pratique. Elle permet de retenir les méthodes de travail appropriées. Ce qui distingue un expert, ce n'est pas tant ses capacités intellectuelles supérieures que la richesse des schèmes qu'il utilise.

De surcroît, des surcharges cognitives apparaissent lorsque trop d'informations disparates doivent être simultanément prises en compte par l'esprit. Il importe donc de **simplifier autant que possible le contenu des matériaux éducatifs** utilisés, et surtout d'éviter de présenter séparément des éléments qui ne peuvent être compris qu'ensemble. Eviter ce mécanisme, dit de "split attention", doit être un souci constant lorsque l'on développe des ressources pédagogiques numériques.

Cette théorie rejoint par ailleurs les conclusions du modèle RTM(E), en affirmant que **les exemples commentés jouent un rôle essentiel dans l'apprentissage**, car ils permettent d'organiser les différentes connaissances de manière concrète et réaliste. **La mémorisation des Exemples-clés** de la discipline, rendue possible par des imprégnations successives à l'occasion d'activités pratiques personnelles, **leur permet d'ancrer dans le concret leur culture du domaine** et de pouvoir s'y référer ultérieurement.

En complément de cette modification en profondeur du contenu scientifique enseigné basée sur ces deux théories, les **modalités pédagogiques** ont elles aussi beaucoup évolué grâce aux éclairages que nous ont fourni ces réflexions. La **conception constructiviste de l'apprentissage** nous a en particulier semblée très intéressante compte tenu de ses possibilités d'application dans le domaine des sciences de l'ingénieur [4]. Les principaux éléments qu'elle propose sont les suivants :

1) Hypothèses sur l'apprentissage

Pendant le processus d'apprentissage, **l'apprenant construit une réalité ou du moins l'interprète sur la base de ses perceptions**. Alors que traditionnellement, les conceptions objectivistes de l'apprentissage sont centrées sur l'objet du savoir plutôt que sur le processus de son acquisition, les constructivistes supposent que les étudiants construisent leur connaissance en interprétant leurs perceptions en fonction de leurs connaissances antérieures, de leurs structures mentales existantes, et de leurs croyances.

L'apprentissage demande ainsi de **relier les nouvelles informations aux connaissances antérieures afin d'affiner les structures cognitives existantes** (schèmes).

La connaissance est mal structurée si les catégories auxquelles elle fait appel sont mal définies, c'est-à-dire si elles ont des attributs variables ou des critères ambigus. Les domaines de connaissance mal structurés manquent

de règles ou de principes généraux pour décrire les cas rencontrés. Leurs caractéristiques ne permettent pas de déterminer les actions appropriées, et des contradictions existent entre les cas.

2) Le monde réel, les études de cas et les environnements d'apprentissage

L'**apprentissage le plus performant**, celui qui a le plus de sens et est donc le plus efficace, est basé sur des études de cas et **fait appel à des tâches représentatives du monde réel**. Les constructivistes contestent donc les apprentissages non fondés sur un contexte réel bien approprié, en l'absence duquel l'information est moins significative.

Les **contextes d'étude les plus efficaces** sont ceux qui sont basés sur des problèmes ou des études de cas, qui **mettent l'étudiant en situation**, et exigent de lui qu'il acquière des compétences ou des connaissances afin de résoudre un problème concret.

3) Un apprentissage en situation

Les caractéristiques de l'apprentissage cognitif incluent l'articulation (rendre explicite la connaissance tacite) et l'exploration (apprendre comment former et tester des hypothèses).

Par une réflexion métacognitive, les apprenants peuvent mieux contrôler leur apprentissage, apprendre des autres, et développer la réflexion pendant l'action ainsi que la réflexion sur l'action.

4) Rôle des NTE dans la formation

L'hypertexte fait partie des meilleurs exemples d'environnements d'apprentissage constructiviste. Les environnements utilisant les NTE favorisent également la construction des connaissances en fournissant des outils d'apprentissage cognitif.

Les environnements NTE, tels que l'hypertexte, peuvent représenter le monde aux étudiants dans sa complexité naturelle. Plutôt que de simplifier la réalité afin de la rendre plus facilement compréhensible, les interprétations de la réalité, et les tâches auxquelles elles conduisent, ont besoin d'être situées dans un contexte significatif et réel qui reflète la complexité naturelle et mal structurée du monde réel.

Plutôt que de chercher à représenter le monde à l'étudiant, les outils NTE devraient fournir des boîtes à outils permettant à l'étudiant d'établir des interprétations et des représentations personnelles du monde plus significatives.

Les constructivistes pensent que **des étudiants à un niveau avancé** d'acquisition des connaissances **devraient être exposés à des environnements d'étude ouverts qui reflètent la complexité du monde réel**. Ces environnements devraient être basés sur des études de cas en prise avec la réalité du monde externe.

5) Environnements collaboratifs de construction des connaissances

La négociation sociale de la compréhension suggère de mettre l'accent sur l'apprentissage coopératif dans lequel l'étudiant est exposé à des points de vue alternatifs qui remettent en cause sa compréhension initiale [5]. Les constructivistes pensent donc que **les environnements d'apprentissage devraient favoriser la construction collaborative des connaissances en impliquant à la fois les professeurs et les étudiants**.

De même que l'apprentissage actif est le plus efficace, **les étudiants peuvent beaucoup apprendre de l'observation d'autres étudiants qui éprouvent et résolvent des difficultés analogues**.

6) Evaluation

L'apprentissage constructiviste n'est pas censé refléter la réalité, mais plutôt permettre de construire des interprétations significatives. L'évaluation constructiviste doit refléter ce mode de construction.

Les évaluations des environnements constructivistes devraient permettre de mesurer les progrès réalisés au niveau des processus mentaux supérieurs.

Si l'on se réfère à la théorie de la charge cognitive, il est fondamental que les élèves commencent par structurer leurs connaissances : il faut tout faire pour les guider dans cette tâche, en étant conscient qu'elle n'est pas directement intuitive, et qu'il n'y a aucune raison pour qu'ils découvrent par eux-mêmes des schèmes adéquats. Il faut les expliciter et s'assurer qu'ils sont pertinents pour eux et non pas simplement pour des experts. On notera qu'il existe ici une petite difficulté dialectique : il est souhaitable que les élèves construisent par eux-mêmes leurs schèmes, mais ils ne peuvent cependant être livrés complètement à eux-mêmes. Il faut pour cela **trouver des pédagogies centrées sur l'apprenant et suffisamment ouvertes**.

La nouvelle **méthode d'apprentissage originale et extrêmement simplifiée** de la thermodynamique appliquée est ainsi basée sur une **reconception radicale de la pédagogie de la discipline** et sur deux TICE innovantes, l'une spécifique de la discipline, le **simulateur Thermoptim**, et l'autre beaucoup plus générique, les **modules de formation à distance sonorisés Diapason**.

Le simulateur professionnel Thermoptim (figure 1) permet quant à lui de modéliser très simplement les systèmes énergétiques, tandis que les modules Diapason (Diaporamas Pédagogiques Animés et Sonorisés) donnent accès à tout moment aux explications orales de l'enseignant sur des questions relatives tant à la théorie et à la technologie qu'à la mise en œuvre pratique du simulateur.

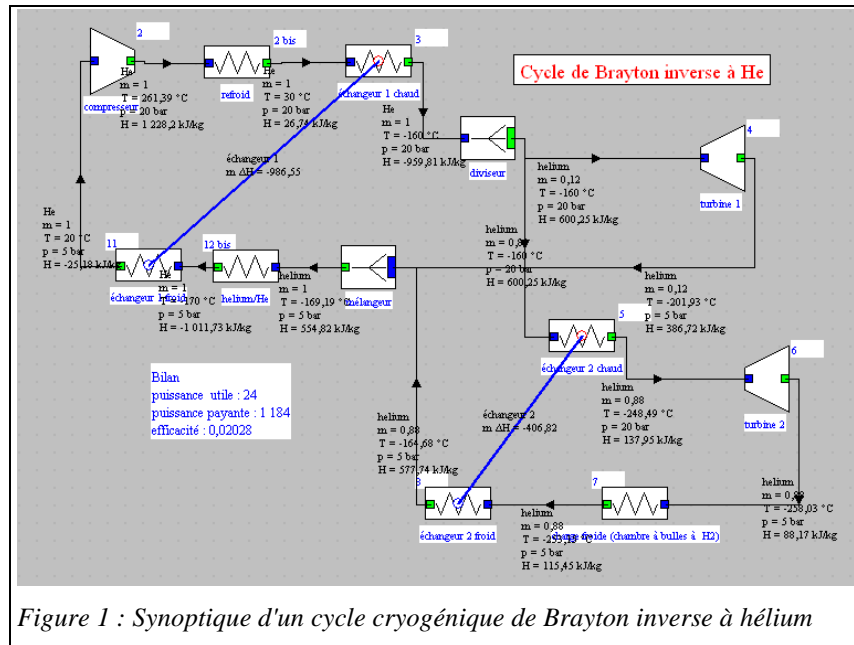


Figure 1 : Synoptique d'un cycle cryogénique de Brayton inverse à hélium

Leur utilisation conjointe permet de recourir à des approches pédagogiques qui rencontrent un grand succès auprès des apprenants, ce qui a justifié des soutiens institutionnels qui ont permis de développer de nombreuses ressources numériques librement disponibles pour l'enseignement de l'énergétique. Nous avons pu les rassembler et les intégrer dans le **portail Thermoptim-UNIT²** (www.thermoptim.org) qui a été conçu pour que leur accès soit le plus facile possible.

Structuration du portail

Le portail a été structuré afin qu'il puisse simultanément s'adresser à des **profils d'utilisateurs variés**, et leur permettre à la fois de découvrir dans un premier temps l'ensemble des ressources à leur disposition, et de pouvoir dans un second temps aller à l'essentiel. Pour cela, la page d'accueil (figure 2) comporte trois grands blocs de liens aussi explicites que possible, pour chaque catégorie principale d'utilisateurs (Etudiant, Enseignant et Autre). Dans chaque bloc sont proposés les liens les plus utiles pour la catégorie.

En complément, le texte de bienvenue présente en quelques lignes le rôle du portail et propose au visiteur de commencer par prendre connaissance de ses principales fonctionnalités.

Pour les utilisateurs non identifiés, ce portail donne accès à une palette de ressources complémentaires permettant de définir de multiples scénarios d'usage, et structurées en quelques grandes rubriques :

- **Bases de thermodynamique**, qui présente comme son nom l'indique les fondements de la discipline ;
- **Guides méthodologiques**, qui regroupe diverses recommandations méthodologiques destinées à faciliter le calcul des systèmes énergétiques, des plus simples aux complexes. Son principal objectif est de sensibiliser le lecteur aux diverses problématiques abordées et de suggérer quelques pistes pour trouver des solutions appropriées, sans chercher à les traiter de manière exhaustive ;

² <http://www.thermoptim.org/sections/logiciels/divers-portail/presentation-du-portail>

- **Technologies**, qui regroupe des fiches thématiques synthétiques présentant les principales technologies énergétiques, en distinguant d'une part les composants (compresseurs, turbines, chambres de combustion...) et d'autre part les systèmes complets (turbines à gaz, moteurs alternatifs, centrales à vapeur...);
- **Problèmes globaux**, qui aborde les grands problèmes de l'énergie : énergie au niveau macro-économique (filères énergétiques, comptabilité économique et énergétique), et les aspects géopolitiques (situation énergétique mondiale, problèmes énergétiques des pays en développement, réserves et ressources, marchés de l'énergie);

La Thermodynamique appliquée aux systèmes énergétiques

unit université numérique ingénierie et technologie

Rechercher OK

Bases de thermodynamique Guides méthodologiques Technologies Problèmes globaux Enseignement Logiciel Glossaire

Authentication

Dernières nouvelles

- Stage LIESSE sur Thermoptim (29 octobre 2007)

RÉS

Liens sélectionnés

- Le consortium UNIT
- Diffusion commerciale

Derniers documents

- Available pedagogic resources
- Ressources pédagogiques disponibles
- Club ALET
- Club ALET
- Industrial applications

RÉS

Derniers cours UNIT

- Région 3 de TIM : Fonctions avancées pour l'image >>
- Région 2 de TIM : Coder des images et des vidéos >>

Vous êtes étudiant ?
 Démarrage
 FAQ, Glossaire
 Modules d'auto-formation (accès libre)
 Séances Diapason disponibles

Enseignant ?
 Découverte
 Communauté UNIT
 Club ALET
 Ressources disponibles

Autre ?
 Simple visiteur
 Industriel
 Documentation disponible
 Suggestions...

Bienvenue sur le portail Thermoptim-UNIT !

Le projet THERMOPTIM traduit la volonté d'aborder différemment la thermodynamique appliquée aux systèmes énergétiques grâce aux Nouvelles Technologies Educatives (NTE). Il ouvre la voie à une **nouvelle approche pédagogique** qui permet de dépasser les difficultés auxquelles est confronté l'enseignement classique de cette discipline et de former des ingénieurs et scientifiques capables d'affronter les défis énergétiques du futur. Il forme aujourd'hui un **ensemble large et cohérent de ressources** mises à votre disposition dans ce portail, dont nous espérons que ses **fonctionnalités** répondront à vos attentes. Notre objectif est qu'il constitue un outil de travail de qualité pour le plus grand nombre. N'hésitez surtout pas à nous faire part de vos **remarques et suggestions**. Ces ressources s'articulent autour d'un **progiciel de simulation (THERMOPTIM)** et de **modules de formation à distance sonorisés (DIAPASON)**, qui rendent accessibles à tout moment les présentations de l'enseignant, avec ses explications orales, ses diaporamas et des liens hypertexte. Leur utilisation conjointe se révèle pédagogiquement très **efficace** et rencontre un **grand succès** auprès des élèves de plusieurs dizaines d'établissements d'enseignement. De **l'étudiant** ou **l'enseignant** souhaitant une approche non conventionnelle et plus attractive de la thermodynamique, à **l'industriel** recherchant des moyens et des méthodes facilement abordables et fiables pour évaluer, dimensionner et optimiser des systèmes énergétiques, chacun trouvera en THERMOPTIM une **nouvelle méthodologie de travail** particulièrement féconde en matière de pédagogie, de modélisation et d'optimisation systémique.

Figure 2 : écran d'accueil du portail

- **Enseignement**, qui comporte deux grands volets, le premier consacré à la pédagogie de la thermodynamique appliquée que nous préconisons et aux communautés d'enseignants qui participent au développement des ressources, et le second qui regroupe toutes les ressources mises en ligne, en particulier l'ensemble des séances Diapason utilisables pour la formation à distance;
- **Logiciels**, qui est consacrée d'une part au progiciel Thermoptim, et d'autre part aux outils permettant de concevoir et de déployer des séances Diapason. Ces deux sous-rubriques comportent chacune une présentation des outils, de la documentation, et des ressources diverses.

Les utilisateurs identifiés ont en outre accès à d'autres rubriques spécifiques, comme par exemple les sites des communautés d'enseignants, ou bien un espace contenant des documents réservés aux enseignants (corrigés des fiches-guides de TD et des exercices).

Les principales ressources disponibles sont les suivantes :

- des fiches thématiques synthétiques ;
- l'ensemble des séances Diapason ;
- des supports écrits ;
- des fiches-guides de TD ;
- des guides méthodologiques ;
- des modèles de corps et composants permettant d'étendre le noyau de Thermoptim ;

- des notes relatives à la pédagogie de la thermodynamique appliquée.

Les **fiches thématiques** synthétiques (figure 3) d'une part constituent une introduction sommaire à un thème de la discipline, et d'autre part renvoient sur différentes activités pédagogiques (cours en ligne, exercices...). Placées essentiellement dans la rubrique Technologies, elles permettent de passer en revue l'ensemble du cours, un peu comme à partir du sommaire d'un livre, en ayant en plus accès à un bref panorama des sujets abordés. Une trentaine de fiches sur les composants et les systèmes a déjà été publiée.

Comme le montre la figure 3 qui présente deux parties d'une même fiche pour des raisons de place, un utilisateur intéressé par une technologie donnée, par exemple les turbines à gaz, dispose de quelques explications succinctes, de références bibliographiques, notamment vers les chapitres du manuel, et de liens directs vers les séances Diapason pertinentes et vers des activités personnelles comme des sujets d'exercices ou de projets. Si ces activités font appel à des modèles spécifiques, des liens permettent d'y accéder.

Au nombre de soixante quinze, les **séances Diapason** représentent un ensemble d'environ 1100 écrans sonorisés à 85 % (12 h de bandes-son).

Espaces privés

Espaces de travail

Espaces de travail

Répertoires disponibles

Espaces de publication

- Bases de thermodynamique
- Guides méthodologiques
- Technologies
- Composants
- Systèmes
- Problèmes globaux
- Enseignement
- Logiciel
- Glossaire
- Divers

Turbines à gaz

Créé par Renaud Gicquel. Dernière modification le 21/02/2009. Statut **publié** Version 25 Langue Français

Dans sa forme la plus simple et la plus répandue, une turbine à gaz (aussi appelée turbine à combustion) est composée de trois éléments :

- un **compresseur**, centrifuge ou plus généralement axial, qui a pour rôle de comprimer de l'air ambiant à une pression comprise aujourd'hui entre 10 et 30 bars environ ;
- une **chambre de combustion**, dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, puis brûlé avec l'air comprimé, avec un fort excès d'air afin de limiter la température des gaz d'échappement ;
- une **turbine**, généralement axiale, dans laquelle sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion.

turbine à gaz simple

Références livre

Chapitre 2

Un extrait de ce chapitre est librement téléchargeable avec l'accord des [Presses de l'Ecole des Mines de Paris](#)

Séances Diapason disponibles

Les séances Diapason traitant des **turbines à gaz à cycle ouvert** sont données dans le tableau ci-dessous. La séance S20 est plus particulièrement dédiée à la technologie, alors que les autres permettent de construire dans ThermoOptim des modèles de turbine à gaz variés : dans la séance S21, on fait l'hypothèse que la machine est parcourue par de l'air, lui-même supposé parfait, ce qui permet de comparer les résultats avec ceux d'un modèle purement analytique. La séance S22 complète la précédente, l'air aspiré étant considéré comme un mélange de N₂, O₂ et Ar. La combustion est alors prise en compte. La séance S23 permet d'établir le bilan exergétique de la machine et d'étudier une variante à régénération. La séance S24 permet de construire directement un modèle de turbine à gaz avec combustion sans passer par le modèle à air parfait. Elle résume donc en quelque sorte les séances S21 et S22. La séance S20_aero présente les turbomoteurs, qui sont de simples variantes des turbines à gaz.

n°	contenu	étapes	durée de la sonorisation
S20	Technologie des turbines à gaz	30	18 mn
S21	Exercice TAG (gaz parfait)	29	12 mn 35 s
S22	Exercice TAG (gaz réel)	5	2 mn 30 s
S23	Exercice TAG (bilans exergétiques, régénération)	10	5 mn 50 s
S24	Exercice TAG simple	17	6 mn 30 s
S20_aero	Turbomoteurs et moteurs fusée	27	16

Figure 2 : Fiche thématique de présentation d'une technologie

Les **supports écrits** sont pour beaucoup des extraits du livre Systèmes Energétiques publié aux Presses de l'Ecole des Mines de Paris. Ils sont téléchargeables à partir soit des fiches thématiques synthétiques, soit des séances Diapason.

La vingtaine de **fiches-guides de TD** constitue un nouveau type de ressource pédagogique particulièrement intéressant à double titre :

- elles permettent en premier lieu de proposer aux élèves des activités personnelles de travaux dirigés,

exercices ou projets, besoin qui était jusqu'ici mal résolu, les séances Diapason couvrant uniquement le cours et les exercices guidés pas à pas

- elles constituent en second lieu un moyen particulièrement souple de réappropriation et personnalisation par les enseignants de ressources déjà développées, étant donné leur structure et leur contenu, qui est indicatif plus que normatif

Les **guides méthodologiques** fournissent diverses recommandations méthodologiques destinées à faciliter le calcul des systèmes énergétiques. Des thèmes comme les énergies renouvelables et les analyses entropiques et exergétiques constituent des sujets d'intérêt majeur dans le contexte actuel de recherche de solutions énergétiques alternatives. Sur le plan méthodologique, ils soulèvent de nombreuses difficultés, qui justifient qu'une attention particulière leur soit accordée dans le portail.

La **modélothèque** de Thermoptim comporte une vingtaine de modèles développés sous forme de classes externes, qui permettent de représenter des corps ou des composants non disponibles dans le noyau de Thermoptim, ceci afin de simuler des systèmes énergétiques novateurs, notamment à faible impact environnemental, comme des piles à combustible, centrales solaires à concentration...

Les notes relatives à la pédagogie de la thermodynamique appliquée sont issues des **réflexions pédagogiques** menées en parallèle de ces développements, et ont donné lieu à diverses publications.

Ces ressources peuvent être combinées pour former simplement des parties de cours ou des cours complets. A titre d'exemple, plusieurs **modules d'auto-formation** en ligne sont proposés sur des thématiques variées. Ces cursus sont généralement basés sur une progression en trois étapes :

- 1) **l'acquisition des concepts et des outils**, consacrée aux rappels de thermodynamique, à l'étude des cycles de base, à la découverte des technologies mises en œuvre et à l'apprentissage de Thermoptim ;
- 2) **la consolidation des notions vues lors de la première étape**, avec quelques compléments théoriques comme par exemple sur l'exergie et les échangeurs, l'étude des variantes des cycles de base, des cycles combinés et de la cogénération ;
- 3) **les approfondissements et la mise en application personnelle**, donnant lieu à l'étude de cycles novateurs et/ou plus complexes que les précédents ainsi qu'à des réflexions sur les perspectives technologiques, à l'occasion de mini-projets menés seuls ou en groupes.

Les deux premières étapes sont en quelque sorte standard : elles permettent à un apprenant d'acquérir, dans le cadre d'un parcours très balisé, les bases de la discipline. Elles sont essentiellement constituées de séances Diapason qui le guident pas à pas dans les premières leçons. Au fur et à mesure que sa culture du domaine et sa compréhension de la discipline se développent, l'apprenant gagne en autonomie et peut utiliser des ressources numériques complémentaires de Thermoptim et des modules Diapason, comme les fiches thématiques de composants et systèmes et les fiches-guides de TD ainsi que de nombreux exercices. Au cours de la troisième étape, il peut ainsi personnaliser son cursus en fonction de ses centres d'intérêt et de ses aspirations, et accéder aux guides méthodologiques lui expliquant comment aborder des sujets plus difficiles.

Le portail dispose d'un puissant **moteur de recherche** qui permet de retrouver facilement les informations que l'on désire parmi l'ensemble de ce qui est disponible. Une **Foire Aux Questions** et un **glossaire** sont aussi disponibles. Cet environnement permet ainsi d'accéder aux ressources numériques existantes de diverses façons selon les objectifs poursuivis. Les utilisateurs qui le souhaitent peuvent **s'abonner** sur le portail pour être tenus informés par courriel d'un certain nombre d'événements, comme la publication de nouveaux documents ou la mise à jour de pages existantes. Le portail dispose d'un **système d'internationalisation assez avancé**, qui lui permet d'afficher des documents dans des langues différentes alors que leur URL est la même. Ainsi, une page s'affiche dans la langue pour laquelle le portail est configuré si traduction existe, et dans sa langue de création sinon.

Résultats pédagogiques

Thermoptim et la nouvelle approche pédagogique qu'il rend possible ont progressivement diffusé dans l'enseignement supérieur, en France et dans le monde, de telle sorte qu'on peut estimer qu'en 2008, **plus de 120 établissements et plus de 7 000 élèves l'ont utilisé**, pour un total d'environ 57 000 heures-élèves.

L'efficacité pédagogique de cet environnement de formation à distance est excellente, bien meilleure que celle d'un cours classique de thermodynamique appliquée :

- l'utilisation de Thermoptim permet à un élève de s'initier à l'étude des systèmes énergétiques en explorant ou en assemblant par lui-même des modèles des principales technologies de conversion de l'énergie. Celles-

ci se présentant comme des assemblages de composants traversés par des fluides thermodynamiques qui y subissent des transformations diverses, on simplifie grandement les choses si on adopte une double démarche, en commençant par dissocier la **représentation globale du système**, généralement assez simple, de **l'étude de ses différents composants** considérés individuellement ;

- la représentation d'ensemble se révèle très utile sur le plan qualitatif : elle peut être faite visuellement et permet de bien comprendre le rôle joué par chaque composant dans le système complet. Sur le plan didactique, elle est essentielle pour bien assimiler les principes de conception de ces technologies. Une fois que l'on a bien à l'esprit la structure interne d'un moteur ou d'une centrale électrique, l'étude du comportement de l'un de ses composants est facilitée parce que l'on comprend comment il s'insère dans le tout et quelle est sa contribution au fonctionnement global ;
- si l'on dispose d'un environnement graphique approprié comme l'éditeur de schémas de Thermoptim (figure 1), la structure interne du système peut être décrite sans aucune difficulté. On obtient ainsi une représentation qualitative très parlante, qu'il ne reste plus ensuite qu'à **quantifier en paramétrant les propriétés thermodynamiques des différents composants puis en les calculant** ;
- lors de l'utilisation des **modules Diapason**, les élèves sont plus actifs qu'en salle de cours, en ce sens qu'ils règlent eux-mêmes leur rythme d'écoute, mais surtout ils choisissent les moments où ils étudient, et sont donc disponibles lorsqu'ils le font ; ils apprennent mieux, d'autant plus qu'ils ont tout loisir de revenir en arrière ou de compléter les informations qui leur sont présentées en recourant aux documents écrits ;
- les bandes-son ayant une durée moyenne de moins d'une minute, leur attention peut être soutenue lorsqu'ils étudient une étape, et ils ne passent à la suivante qu'après un temps de repos ;
- lorsqu'ils travaillent, les élèves disposent de l'ensemble des ressources pédagogiques dont ils ont besoin ; en cas de doute ou s'ils ont été absents, ils peuvent se référer sans aucune difficulté aux explications orales de l'enseignant ;
- la mise en œuvre de ces ressources suppose généralement l'adoption d'un mode de formation hybride alternant séances en présentiel et auto-formation en ligne. L'organisation et la conduite d'une formation de ce type demandent à l'enseignant un certain effort d'ingénierie pédagogique (planification fine de la formation, remédiation des connaissances acquises en ligne, évaluation...), incluant une évolution de son rôle vers davantage de tutorat.

Le développement de cet environnement pédagogique a été rendu possible grâce au soutien de l'Ecole des Mines de Paris, du Groupe des Ecoles des Mines et enfin d'UNIT, que nous tenons à remercier pour leur appui.

Il peut être utilisé **aussi bien en formation initiale qu'en formation continue** par des ingénieurs en activité désireux d'actualiser leurs connaissances sur les systèmes énergétiques classiques ou innovants, notamment à faible impact environnemental.

Thermoptim dispose en outre de fonctionnalités avancées qui en font un puissant progiciel de modélisation de systèmes énergétiques innovants : optimisation systémique basée sur la méthode du pincement, génération de structures productives pour automatiser l'établissement des bilans exergétiques, outils de dimensionnement technologique et d'analyse du fonctionnement en régime non-nominal...

Références

- [1] GICQUEL R. Utilisation pédagogique des simulateurs : Volet 1 : éclairages de la didactique, Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique-Chimie, n° 868, novembre 2004, Volet 2 : application à l'enseignement de la thermodynamique, Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique-Chimie, n° 869, décembre 2004.
- [2] SWELLER J. Cognitive technology: Some procedures for facilitating learning and problem solving in mathematics and science. *Journal of Educational Psychology*, 81 (4), 457-466, 1989.
- [3] SWELLER J., COOPER G. A. The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2(1), 59-89, 1985.
- [4] JONASSEN D., MAYES T., MCALEESE R. A Manifesto for a Constructivist Approach to Technology in Higher Education, T. M. Duffy, J. Lowyck, D. H. Jonassen and T. M. Welsh (eds) *Designing environments for constructive learning*. Springer-Verlag, 1993.
- [5] VYGOTSKY L.S. *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.