

Le projet Thermoptim-UNIT : retour d'expérience sur l'utilisation des outils de production et de diffusion

R. GICQUEL, Professeur, Mines ParisTech

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 respecte un certain nombre de règles. Les ressources développées dans le cadre du projet Thermoptim-UNIT sont aujourd'hui utilisées pour l'enseignement de l'énergétique 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. Dans cette présentation, nous faisons part de notre retour d'expérience sur les outils de production et de diffusion que nous avons utilisés au cours des vingt dernières années pour les produire.

Problématique 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 estimer 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. 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. 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 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 paraissaient 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], 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).

En complément de cette modification en profondeur du contenu scientifique enseigné, les modalités pédagogiques ont elles aussi beaucoup évolué grâce aux éclairages que nous ont fourni ces réflexions.

Trois TICE innovantes

Cette nouvelle **méthode d'apprentissage originale et extrêmement simplifiée** est ainsi basée sur une reconception radicale de la pédagogie de la discipline et sur trois TICE innovantes, l'une spécifique de la discipline, le **simulateur Thermoptim**, l'autre beaucoup plus générique, les **modules de formation à distance sonorisés Diapason**, la troisième étant le **portail Thermoptim-UNIT**¹ (www.thermoptim.org).

Thermoptim permet 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.

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 qui a été conçu pour que leur accès soit le plus facile possible.

Thermoptim

Un outil comme Thermoptim permet de compléter un enseignement classique de la thermodynamique par une grande diversité d'activités pédagogiques, qui peuvent être regroupées en deux principales catégories : celles de **découverte et initiation**, notamment par exploration de modèles prédéfinis, et celles de **construction de modèles**, qui concernent des élèves cherchant à apprendre à modéliser par eux-mêmes des systèmes énergétiques. Selon les objectifs visés et surtout le temps disponible, l'enseignant peut privilégier l'une ou l'autre d'entre elles.

L'écran de la figure 1 montre les 22 principales équations qu'il faut introduire pour étudier avec une précision raisonnable les performances de la plus simple des turbines à gaz dans le cadre d'un cursus classique. Il est bien sûr possible de simplifier, mais le modèle devient alors caricatural.

Les équations décrivant la compression apparaissent en haut à gauche en marron, et celles pour la détente en haut à droite en bleu. Ce sont les plus simples.

Les plus compliquées sont celles, en rouge en bas à gauche, qui permettent de déterminer la composition des gaz brûlés en sortie de chambre de combustion.

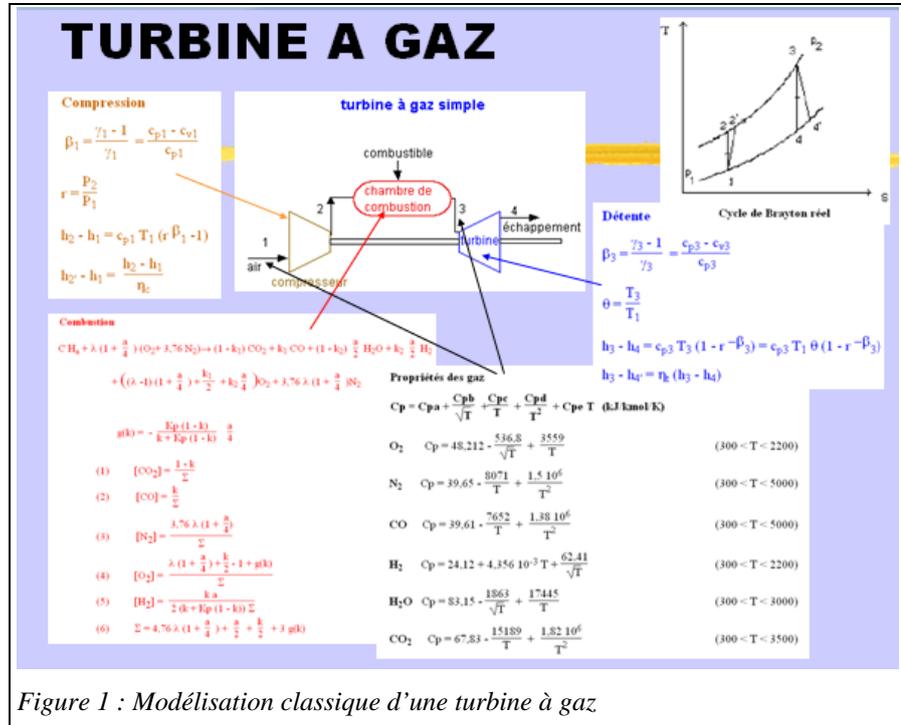


Figure 1 : Modélisation classique d'une turbine à gaz

¹ <http://www.thermoptim.org/sections/logiciels/divers-portail/presentation-du-portail>

Et encore, pour simplifier les choses, avons-nous d'une part considéré ici un combustible particulièrement simple, et d'autre part omis de donner l'équation permettant de calculer la température de fin de combustion, qui est une équation implicite comprenant une intégrale dont l'une des bornes est inconnue.

Dans tous les cas, les propriétés des gaz font appel aux équations présentées en noir en bas de la figure. Elles sont nécessaires pour calculer les propriétés énergétiques de chacun des fluides mis en jeu.

Tout bien considéré, c'est au moins une quarantaine d'équations qui doivent être prises en compte pour obtenir un modèle à peu près vraisemblable de la turbine à gaz.

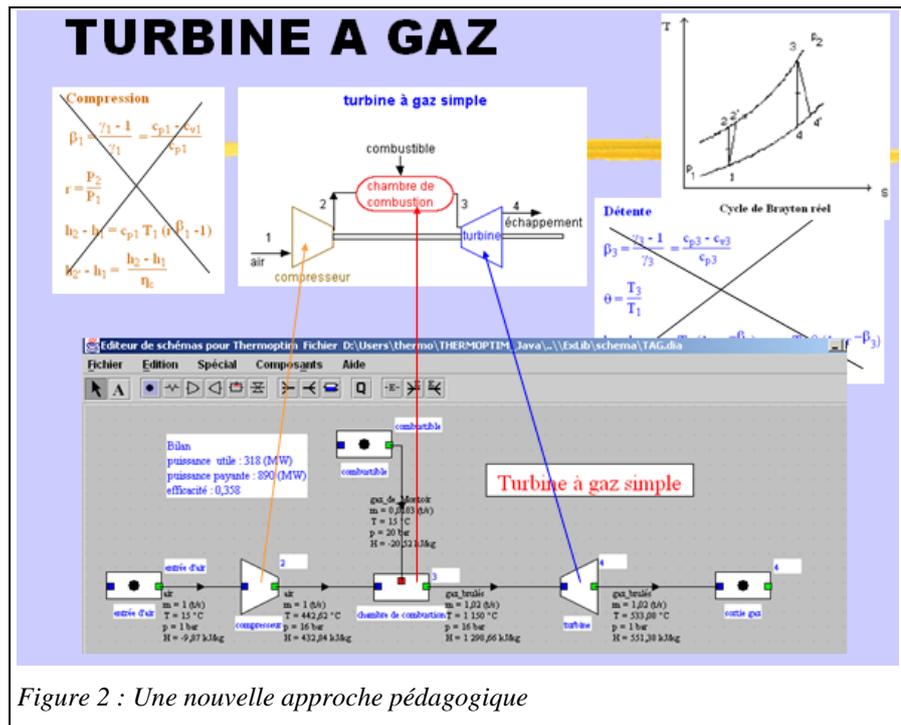
Bien évidemment, même si chacune des équations est connue, les risques d'erreur sont très nombreux lors de l'élaboration du modèle et de sa résolution, notamment du fait qu'elles sont couplées entre elles et que la résolution de certaines d'entre elles doit être faite de manière itérative.

Construire un modèle de turbine à gaz avec Thermoptim relève d'une logique radicalement différente de celle qui était traditionnellement mise en œuvre : nous privilégions en effet une **approche qualitative** des phénomènes, les calculs nécessaires pour les études quantitatives étant réalisés par les outils logiciels de manière transparente pour les apprenants, c'est-à-dire sans qu'ils aient besoin, au moins dans un premier temps, d'en connaître le détail.

Le recours aux équations est réduit au minimum lors de l'initiation à la discipline, l'effort cognitif portant alors essentiellement sur la **compréhension des concepts et des technologies** ainsi que sur leur mise en pratique, et ce n'est qu'une fois que l'élève a acquis une maîtrise suffisante de la discipline que nous considérons que la mise en équations devient possible et pertinente.

Concrètement, comme le montre la figure 2, le modèle est construit par assemblage d'icônes placées sur le plan de travail d'un éditeur de schémas, l'architecture de la machine étant très proche de son schéma physique.

Chaque composant est ensuite paramétré grâce à un tout petit nombre de grandeurs caractéristiques. Les propriétés thermodynamiques des fluides étant encapsulées dans le logiciel, le calcul des performances se fait sans aucune difficulté avec une précision beaucoup plus grande que dans l'approche classique.



En utilisant un outil comme Thermoptim, on divise par 5 ou 6 le temps nécessaire pour calculer un cycle thermodynamique, et une fois le modèle établi, il est possible d'effectuer des analyses de sensibilité et de résoudre en quelques minutes ce qui demanderait des heures par les méthodes classiques.

De plus, il n'y a aucun risque d'erreur de programmation ou de lecture des propriétés. Il en résulte un gain de temps considérable sur un aspect des choses non essentiel sur le plan pédagogique, à savoir la résolution des difficultés calculatoires. Outre le temps gagné, la pénibilité du travail est grandement réduite, ce qui se traduit par un gain important de motivation des élèves, qui ne sont plus rebutés par la lourdeur et le caractère fastidieux des calculs.

De surcroît, des gains considérables sont obtenus en précision et donc en vraisemblance des calculs : il n'est plus nécessaire de recourir à des hypothèses caricaturales dans le seul but de rendre possibles les calculs. L'exemple type est celui des études des moteurs à combustion interne, qui à notre connaissance sont in fine considérés comme traversés par de l'air supposé parfait dans la quasi-totalité des enseignements de premier et second cycle dispensés dans le monde. Comment avec de telles hypothèses espérer intéresser des élèves qui aujourd'hui se soucient de l'impact environnemental de ces technologies : un moteur à air parfait n'a jamais pollué et ne polluera jamais !

Diapason

Comme nous le verrons plus loin, les réflexions didactiques accompagnant le développement de ThermoOptim ont fait apparaître l'intérêt de compléter le simulateur par d'autres outils relevant des TICE afin notamment de présenter aux élèves la réalité technologique, qu'ils méconnaissent très largement au début de leur apprentissage.

Ainsi, depuis septembre 2004, ThermoOptim est complété par les **modules de formation à distance sonorisés Diapason**.

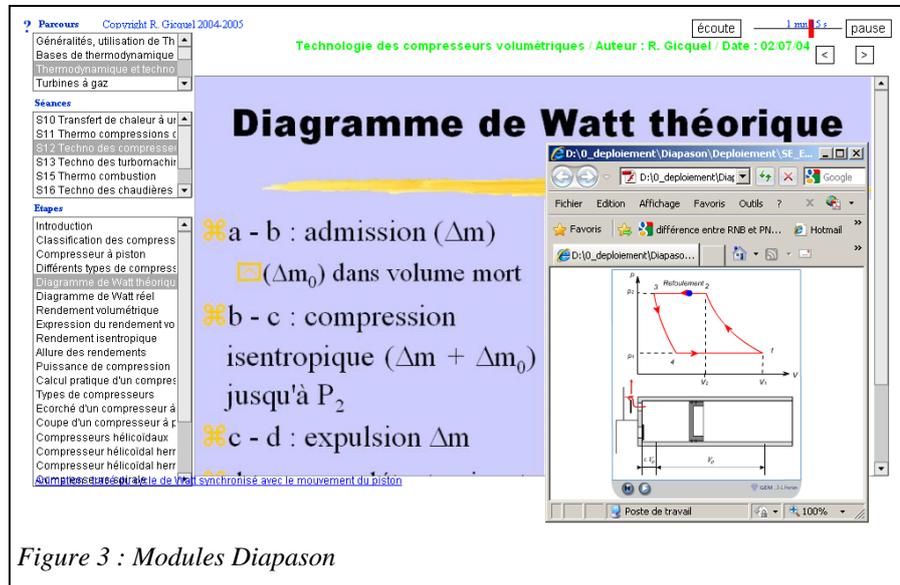


Figure 3 : Modules Diapason

Ces modules permettent aux étudiants de travailler par eux-mêmes, à leur rythme, seuls ou en groupe, et d'avoir accès en ligne à tout moment :

- aux explications orales données par l'enseignant en complément des supports écrits dont ils disposent ;
- à des exercices utilisant le simulateur qui leur donnent la possibilité de se familiariser avec les différents cycles et leurs méthodes d'analyse.

Structurés en étapes, séances, parcours et cursus, les modules Diapason sont un environnement générique utilisable dans de nombreux contextes pédagogiques. Leur spécificité est **d'associer une bande son à un écran**, permettant aux élèves d'obtenir des explications orales contextuelles. Des **hyperliens** permettent d'accéder à des documents divers comme des tableurs ou des documents de référence au format pdf.

Ces modules, qui permettent de faire aussi bien des présentations théoriques, méthodologiques que technologiques, utilisent comme visualisateur un environnement d'exécution Flash supporté par la quasi-totalité des navigateurs Web, qui permet de synchroniser des ressources multimédia variées, comme des images, des bandes-son, des documents pdf, des animations swf, des tableurs, des liens hypertexte...

L'intérêt principal des modules Diapason est leur excellente efficacité pédagogique :

- lors de l'utilisation de ces modules, 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 eux-mêmes 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 ;
- les élèves peuvent travailler à leur rythme, seuls ou en groupe. En cas de doute ou s'ils ont été absents, ils peuvent se référer aux explications de l'enseignant sans aucune difficulté.

ThermoOptim 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 a pu 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**.

Bien que le simulateur et les modules Diapason soient utilisés de manière différenciée selon les établissements de formation, leur mise en œuvre se traduit généralement l'adoption d'un mode de formation hybride alternant séances en présentiel et autoformation en ligne. L'organisation et la conduite d'une formation de ce type induisent notamment une évolution du rôle de l'enseignant vers davantage de tutorat.

Le portail Thermoptim-UNIT

En 2006 il est apparu souhaitable de développer un portail dédié (figure 4), ce qu'il a été possible de faire grâce au soutien d'UNIT et aux compétences des collègues de l'École des Mines de Paris à Sophia Antipolis.

Le portail dispose d'un puissant **moteur de recherche** qui permet de retrouver facilement les informations que l'on désire parmi

Figure 4 : écran d'accueil du portail

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 la traduction existe, et dans sa langue de création sinon.

L'ensemble des utilisateurs non identifiés a 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 ;
- **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) ;
- **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.

Une cinquantaine d'utilisateurs qui doivent s'identifier 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). Pour disposer de cet accès, il suffit d'en faire la demande sur le portail et de pouvoir justifier de sa qualité d'enseignant.

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.

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

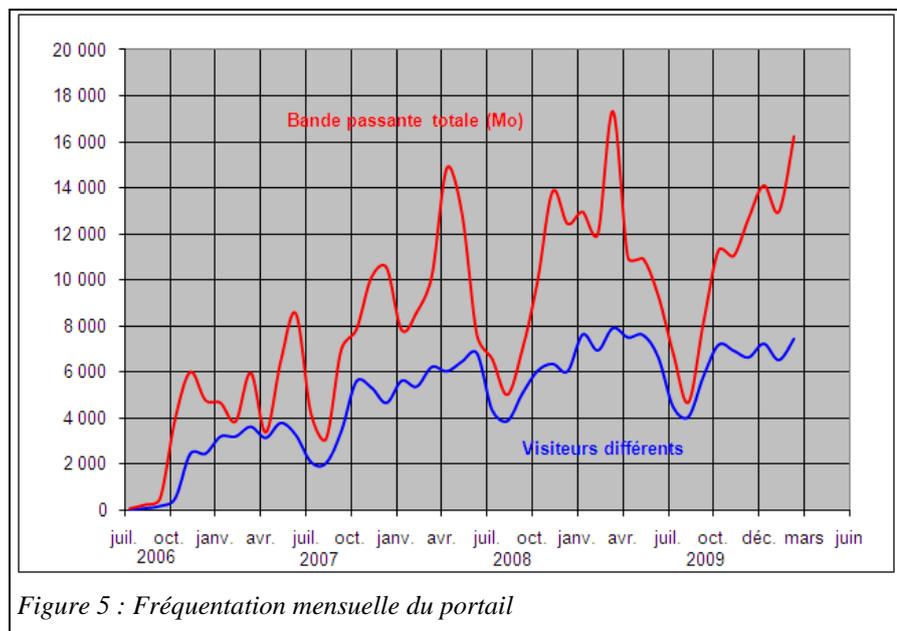


Figure 5 : Fréquentation mensuelle du portail

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.

Pour un environnement spécialisé dans la thermodynamique appliquée, ce site est très visité (plus de 6000 visiteurs différents par mois), avec une bande-passante de plus de 400 Mo par jour (figure 5).

Outils de production et de diffusion

Nous allons maintenant faire part de notre retour d'expérience sur les outils de production et de diffusion que nous avons utilisés pour réaliser ces développements. Nous commencerons par parler des outils de production destinés au calcul scientifique, tableurs et langages de programmation, puis de ceux sur lesquels repose la solution Diapason, à savoir xml, Flash et Audacity. Nous évoquerons ensuite la question des chaînes éditoriales, et nous finirons par montrer l'intérêt que présente un portail par rapport à un site Web pour la diffusion des ressources.

Les tableurs

A l'origine de Thermoptim, dans les années 1990-1995, j'avais développé de nombreuses feuilles de calcul pour résoudre les équations que je présentais à mes élèves, mais cette manière de faire a assez rapidement trouvé ses limites, d'une part parce qu'ils ne maîtrisaient pas bien les tableurs à cette époque, et aussi parce que, dès lors que le nombre de feuilles de calcul augmentait, j'avais de plus en plus de mal, au delà de quelques mois après les avoir créés, à me souvenir du détail des formules saisies dans les différentes cellules.

Il est ainsi progressivement devenu souhaitable de changer d'environnement de travail, ce qui m'a conduit à intégrer ces feuilles de calcul dans un outil unique plus convivial, qui allait en quelques années devenir le simulateur Thermoptim.

C'est l'une des principales limites des tableurs : leur potentiel est considérable, mais la lisibilité du code est très réduite, et sa maintenance difficile. Ils conservent cependant à mon sens un grand intérêt, comme compléments des simulateurs.

Ainsi, j'ai mis au point et j'utilise régulièrement une macro Excel de post-traitement des fichiers de projet de Thermoptim, qui rend de nombreux services pour visualiser les évolutions d'un système ou les résultats d'analyses de sensibilité.

Programmée en Visual basic, elle est beaucoup plus lisible que les cellules du tableur, mais j'ai rencontré des difficultés récemment du fait d'une non comptabilité ascendante entre les anciennes et la nouvelle version d'Excel. Sans disposer d'aucune aide explicative sur la raison pour laquelle le code précédent ne marchait plus, j'ai dû trouver une solution alternative pour contourner le problème, mais cela a été laborieux.

The screenshot shows the 'PROJETS' configuration window in Thermocalc. It contains several data tables and control elements:

- POINTS** (8 fiches): A table with columns 'nom', 'corps', 'T (°C)', and 'p (bar)'.

nom	corps	T (°C)	p (bar)
1	eau	19,74	0,0230
2	eau	19,74	165,000
3	eau	560,00	165,000
3a	eau	349,82	165,000
3b	eau	349,82	165,000
4	eau	19,74	0,0230
fleuve 1	eau	10,00	1,0000
fleuve 2	eau	14,87	1,0000
- TRANSFORMATIONS** (7 fiches): A table with columns 'nom', 'point amont', and 'point aval'.

nom	point amont	point aval
compression liquid	1	2
économiseur	2	3a
détente	3	4
vaporisateur	3a	3b
surchauffeur	3b	3
condenseur	4	1
fleuve	fleuve 1	fleuve 2
- NOEUDS** (0 fiches): A table with columns 'nom', 'type', and 'transfo'.
- ECHANGEURS** (1 fiche): A table with columns 'nom', 'transf chaude', 'transf froide', and 'type'.

nom	transf chaude	transf froide	type
condenseur	condenseur	fleuve	contre-cour
- graphes**: A small schematic diagram of a steam cycle.
- Calculer le bilan**: Summary statistics.

énergie payante	3 359,46
énergie utile	-1 310,58
efficacité	0,3901

Figure 6 : Ecran du simulateur de la première version diffusée par les Techniques de l'Ingénieur

Thermocalc sous 4D

La première version de Thermoptim, qui s'appelait ThermoCalc (figure 6), a été développée en 1996 et 1997 avec le logiciel 4^{ème} Dimension, ou 4D, qui est un système de gestion de bases de données relationnelles dont les principaux intérêts étaient :

- d'une part sa facilité à créer des interfaces homme-machine portables sur PC ou sur MacIntosh ;
- d'autre part d'être bien adapté au problème, du fait que la structure sous-jacente à Thermoptim est précisément celle d'une base de données relationnelle.

4D présentait en revanche un très gros inconvénient pour une utilisation scientifique : pour les calculs algébriques, il ne respectait pas les règles habituelles de préséance des multiplications sur les additions, effectuant les opérations de droite à gauche, de telle sorte qu'une expression telle que $x := 4 * y + 5$ était équivalente à $x := 4 * (y+5)$, ce qui obligeait à alourdir significativement le code en rajoutant des parenthèses, pour réécrire cette ligne sous la forme : $x := (4 * y) + 5$.

L'extension assez rapide de la diffusion de Thermoptim eut pour effet de remettre en cause son implémentation sous 4D, qui comportait un certain nombre d'autres limites, notamment sur le plan graphique.

Java

En 1998 et 1999, un investissement sous Java, nouveau langage de programmation qui commençait à bien s'étoffer, m'avait permis de développer des diagrammes thermodynamiques interactifs et des petites applets pour les calculs des propriétés des fluides ou pour les combustions. En 2000, convaincu par le potentiel de Java, j'ai traduit tout Thermoptim dans cet environnement, et réalisé une interface graphique permettant de créer des modèles, appelée éditeur de schémas (bas de la figure 2).

Il me paraît important de souligner que Java est à mon sens un langage vraiment remarquable, très facile à maintenir, d'une très grande lisibilité. J'ai toujours eu beaucoup moins de difficultés pour déboguer et maintenir le code avec Java qu'avec les autres langages que j'utilise aussi, comme ActionScript, 4D, Visual Basic...

C'est en principe un langage portable dans de nombreux systèmes d'exploitation. Toutefois, des difficultés peuvent survenir avec les fichiers textes, que ce soit parce que les caractères spéciaux ne sont pas codés de la même manière (MacIntosh), ou parce que les codes de fin de ligne diffèrent (Windows, Unix).

Le choix de l'environnement de développement est très important, et peut même se révéler structurant. Par exemple, je continue à utiliser Visual Café, qui est un vieil environnement de développement datant de 1998, mais que je conserve encore car il dispose à la fois de fonctionnalités de conception graphique (RAD) très pratiques, et surtout car il est très souple dans la structuration des fichiers source, ce que ne permet pas de faire par exemple JBuilder, qui est par ailleurs très puissant mais très contraint sur ce plan. En effet, il impose que l'arborescence des fichiers source soit la même que celle des classes compilées, ce qui empêche de mettre au point simultanément plusieurs versions différentes partageant un même noyau de classes.

xml, ou comment traduire concrètement une scénarisation

xml offre un très grand potentiel pour gérer les enchaînements d'apparition à l'écran de ressources pédagogiques diverses, c'est-à-dire pour traduire concrètement une scénarisation. C'est un mode de structuration des données qui présente de plus le très grand avantage d'être

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <SEANCE TITLE="S06 Bilans exergetiques" LEVEL="2" DESCRIPTION="S06 Bilans exergetiques" AUTHOR="R. C
  DATE="22/06/04">
- <ETAPE TEXT="Introduction" IMAGE="Presentation.swf">
  <hyperlinks hyperlink="C01/Exergie.pdf" label="manuel : exergie (pdf 220 Ko)" />
</ETAPE>
<ETAPE TEXT="Limites du premier principe" SOUND="slide258_1.mp3" IMAGE="slide258_1.jpg" />
<ETAPE TEXT="Exergie, bilans exergetiques" SOUND="slide258_2.mp3" IMAGE="slide258_2.jpg" />
<ETAPE TEXT="Exergie-chaaleur" SOUND="slide269.mp3" IMAGE="slide269.jpg" />
<ETAPE TEXT="Calcul des exergies entrantes et sortantes" SOUND="slide269_1.mp3" IMAGE="slide269_1.jpg" />
<ETAPE TEXT="Energie mecanisable" SOUND="slide268.mp3" IMAGE="slide268.jpg" />
<ETAPE TEXT="Systemes multithermes" SOUND="slide259.mp3" IMAGE="slide259.jpg" />
<ETAPE TEXT="Rendement exergetique" SOUND="slide260.mp3" IMAGE="slide260.jpg" />
<ETAPE TEXT="Application aux transfos adiabatiques et sans travail" SOUND="slide261.mp3" IMAGE="slide261.jpg" />
- <ETAPE TEXT="Presentation du tableur" IMAGE="PresentationTableur.swf">
  <hyperlinks hyperlink="C01/BilansExergetiques.pdf" label="cours Bilans exergetiques (pdf 308 Ko)" />
  <hyperlinks hyperlink="S06/BilansExerThopt.xls" label="ouvrir le tableur (xls 98 Ko)" />
</ETAPE>
```

Figure 7 : Structure d'un fichier xml de séance

reconnu par la plupart des langages, et donc de permettre de communiquer entre diverses applications. Comme un fichier xml est un fichier texte, on est certain de pouvoir le relire, même dans un avenir lointain. Les modules Diapason reposent sur une conception xml (figure 7), faisant appel à un constructeur développé sous Java et à un visualisateur Flash.

Flash

Flash est sans conteste un environnement de développement d'animations destinées au Web très puissant, mais il dispose aussi des fonctionnalités xml qui lui permettent de constituer des interfaces interactives génériques pour des modules de FAD.

Comme je l'ai indiqué plus haut, son langage de programmation, ActionScript, est moins bien fait que Java. Il est très permissif et assez mal documenté. Ses différentes versions ne sont pas compatibles, notamment la dernière, ActionScript 3, qui est basée sur une structuration objet plus rigoureuse que la précédente, et bien sûr il n'y a pas d'outil de migration. Il faut souvent recourir à des astuces pour contourner les insuffisances de l'implémentation du code, qui ne fait pas toujours ce qu'il est censé faire. Bref, on perd beaucoup de temps à deviner et essayer de manière heuristique diverses solutions jusqu'à ce que l'on obtienne le résultat espéré, et on n'est jamais sûr que cela sera compatible avec tous les FlashPlayers, présents et futurs.

Pour la petite histoire, sachez que je l'utilise aussi pour tracer la plupart de mes schémas de cycles thermodynamiques, même s'il est certain que ce n'est pas sa fonction première. Il est en effet assez fréquent qu'un outil soit dévoyé et se révèle in fine mieux adapté pour réaliser une tâche que ceux qui revendiquent cette finalité.

Equations, documentation

Pour ma part, je devais rédiger du texte scientifique, faisant souvent appel à des équations, même si je m'efforçais de réduire le nombre de celles que je présentais à mes élèves. A ce niveau, la contrainte principale que j'ai connue est celle de la compatibilité avec mes anciens fichiers. Ayant commencé à rédiger sous Word mes supports de cours dans les années 80, je me suis finalement essentiellement tenu à ce logiciel, ne faisant pas le saut dans LaTeX, car, à défaut de disposer d'un convertisseur d'équations fiable, je ne voulais pas risquer de devoir régénérer celles que j'avais déjà écrites, et surtout d'introduire des erreurs difficilement détectables dès lors que leur nombre était très important.

J'attire votre attention sur ce point : les choix initiaux peuvent être structurants pour la suite. En tout état de cause, l'inclusion des équations dans du texte destiné à être publié sur le Web reste encore aujourd'hui un problème mal résolu, pour lequel on est souvent amené à bricoler, par exemple en convertissant les équations en images.

Bandes-son

Pour la génération et l'édition des bandes-son utilisées dans les modules Diapason, j'ai utilisé CoolEdit, puis Audacity qui est un excellent logiciel libre. Précisons que l'absence de vidéo rend ultérieurement très facile la mise à jour des bandes-son, car il n'est pas nécessaire d'effectuer de nouvelles prises de vues.

Chaîne éditoriale

Au début, nous n'avons pas pu travailler dans le cadre d'une chaîne éditoriale, malgré tout l'intérêt d'une telle démarche, pour la bonne raison que le concept n'existait pas ou était réservé à une élite très restreinte. Suite aux discussions qui ont pris place lors du Printemps d'Unit de Douai en 2007, nous avons effectué un important travail pour récupérer sous ScenariChain l'ensemble de ce qui avait été saisi dans le portail, grâce au concours des spécialistes des cellules TICE des écoles des mines d'Albi et de Paris, qui ont mis au point une « moulinette » capable de convertir des fichiers html en fichiers xml reconnaissables par Scenari, et réciproquement.

Toutefois, Scenari ne disposait pas à l'époque de toutes les fonctionnalités nécessaires, et ce processus n'a pas pu être complètement finalisé. Il était en particulier impossible de construire des tableaux avec des hyperliens, et les liens internes ne pouvaient être décrits. Les nouvelles versions d'Opale Sup et d'Opale GEM permettent de le faire depuis peu, mais, même aujourd'hui, malgré toutes ses qualités, Scenari n'est pas encore capable de tenir tout ce qu'il laisse miroiter².

Le très grand intérêt que nous voyons à l'utilisation d'une chaîne éditoriale est de mieux garantir la pérennisation de nos ressources, l'environnement dans lequel le portail a été développé étant peu portable. Nous espérons aussi

² Il est par exemple regrettable qu'on ne puisse pas utiliser des lettres grecques dans Scenari

que l'arborescence de fichiers induite par Scenari nous aidera à archiver les originaux des fichiers qui ont servi à créer les ressources déployées.

Sites Web, portail

Pour créer des pages Web, j'ai initialement utilisé Adobe GoLive, puis DreamWeaver et surtout l'éditeur disponible sous CPS, dont les fonctionnalités peuvent sembler un peu limitées au début. Cependant, à l'usage, j'en suis venu à privilégier la simplicité, mettant l'accent davantage sur les fonctionnalités que sur l'esthétique. Il ne me paraît pas du tout souhaitable que les écrans proposés aux élèves soient trop sophistiqués, à la fois parce que ce n'est pas pédagogiquement utile, et parce que cela finit par renchérir significativement le coût de développement. Ce qui compte le plus, c'est le fond, et il suffit que la forme soit correcte, sans fioritures.

Un premier site Web assez sommaire de présentation de Thermoptim et de ses possibilités avait été mis en ligne en 2001.

En 2004 – 2005, le soutien financier d'UNIT a permis de renforcer la communauté d'enseignants et de développer un nouveau site Web, dont la réalisation a été effectuée par l'Ecole des Mines de Nantes. Cet outil était une première tentative pour rassembler dans un tout cohérent et bien structuré les diverses ressources numériques disponibles, mais il s'est vite révélé insuffisant compte tenu de l'audience croissante qu'elles avaient auprès des collègues enseignants et des élèves. C'est ainsi qu'en 2006 il est apparu souhaitable de développer le portail dédié qui a été présenté ci-dessus (figure 4).

Pour le concepteur, l'un des grands intérêts du portail est qu'il est possible de l'actualiser de manière incrémentale, de n'importe où, dès lors qu'on dispose d'un accès Internet, alors que la mise à jour d'un site est toujours relativement lourde, et demande des droits d'accès au serveur généralement limités à quelques machines qui ont été préalablement référencées.

Pour l'utilisateur, son moteur de recherche est un atout incontestable dès lors que le nombre des ressources disponibles est important.

En matière de diffusion, un portail se révèle donc à l'usage un outil beaucoup plus souple qu'un site Web, mais son inconvénient est de nécessiter une infrastructure informatique plus lourde, et de ne pas pouvoir être cloné sur une machine autre que le serveur.

De ce point de vue, nous avons progressivement mis au point une solution très pratique qui consiste à le préparer dans Scenari et à publier les pages au format html afin de les entrer ultérieurement dans le portail.

Conclusion

Cette rétrospective succincte montre qu'en termes d'outils de production et de diffusion, il faut penser pluralité de solutions complémentaires les unes des autres : l'outil polyvalent capable de tout faire bien relève de la fiction, ou se révèle in fine très limité, tout comme le couteau suisse ne s'est jamais substitué à la caisse à outils du menuisier ou du mécanicien.

Comme l'a montré l'exemple de Word et des équations, les choix peuvent être structurants, ce qui peut poser problème dès lors que l'on effectue des développements qui ont vocation à s'inscrire dans la durée. La pérennisation des ressources et leur possibilité d'évolution à moyen et long termes sont aussi des préoccupations qu'il faut avoir, car les environnements de déploiement évoluent sans cesse. Une solution basée sur une chaîne éditoriale présente un grand intérêt de ce point de vue, même si ce n'est pas son objectif premier.

Un point que je n'ai pas évoqué mais qui me semble fondamental est qu'il est à mon avis de loin préférable que les enseignants développent leur maîtrise des outils de création de TICE plutôt que de « sous-traiter » leur réalisation à des cellules multimédia. Les outils de production sont en effet aujourd'hui assez faciles d'accès, et ce n'est que s'il peut modifier lui-même les ressources qu'il a créées qu'un enseignant les fera évoluer. Le processus de développement des ressources numériques étant long et incrémental, on n'arrive pas du premier coup à mettre au point une solution pédagogiquement pertinente. L'autonomie de création me semble hautement souhaitable, et aujourd'hui possible. Les cellules multimédia peuvent venir en soutien, mais il vaut mieux que les enseignants s'approprient les outils.

C'est un point important, car j'entends souvent dire que, pour qu'ils puissent se consacrer davantage à l'élaboration pédagogique, il faut que les enseignants soient libérés des contraintes de production, que les cellules TICE doivent prendre en charge, sur la base de spécifications détaillées.

Je ne suis pas vraiment d'accord, car il me semble très difficile pour des concepteurs de nouvelles ressources numériques de spécifier a priori de manière précise à quoi ressembleront in fine leurs produits. Il faut les encourager à avancer pas à pas, en suivant leurs intuitions, et ne pas les stériliser s'ils ont du mal à bien expliciter ce qu'ils perçoivent un peu confusément au début.

Sans doute faudrait-il insister davantage sur l'identification détaillée des difficultés pédagogiques rencontrées plutôt que sur la présentation des solutions technologiques envisagées. C'est seulement après avoir bien précisé les objectifs pédagogiques que l'on se fixe et en mettant en évidence les difficultés auxquelles on est confronté que l'on peut définir le travail à réaliser.

Un dernier point est qu'il me semble de loin préférable de mettre l'accent sur les fonctionnalités plutôt que sur l'esthétique. Il ne faut pas passer trop de temps à préparer des écrans très sophistiqués, mais se concentrer sur la simplicité et la pertinence pédagogique. On gagne ainsi à la fois en productivité et en efficacité pédagogique.

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] GICQUEL R., Systèmes Energétiques, Tome 1 : méthodologie d'analyse, bases de thermodynamique, Thermoptim, Tome 2 : applications, Tome 3 : cycles et modélisations avancés, systèmes innovants a faible impact environnemental, Presses de l'Ecole des Mines de Paris, 2ème édition, janvier 2009.
- [4] GICQUEL, R. Le progiciel Thermoptim, une boîte à outils pour l'énergétique, Techniques de l'Ingénieur, Génie Energétique, BE 8047, 2009.
- [5] GICQUEL, R. Le projet Thermoptim-UNIT, cheminement et avancées pédagogiques, Printemps d'UNIT 2010, Valenciennes