

CONTRIBUTIONS
ET
POINTS DE VUE

AVANT-PROPOS

Avant publication de ce rapport sous sa forme définitive, un avis a été demandé, d'une part, à la Commission des titres d'ingénieur (CTI), d'autre part, aux trois sociétés savantes françaises pour les mathématiques, à savoir la Société mathématique de France (SMF), la Société de mathématiques appliquées et industrielles (SMAI) et la Société française de statistique (SFdS).

Suite à la demande de leurs présidents respectifs, le comité de pilotage s'est entretenu, d'une part, avec le bureau de la CTI, d'autre part, avec trois représentants de la SMF. On trouvera ci-après copie du courrier envoyé ensuite par M. Louis Castex, président de la CTI, faisant part de ses remarques, ainsi que le compte rendu de la réunion avec la SMF, dûment approuvé par son président, Michel Waldschmidt.

Le Président de la SMAI, Michel Théra, nous a, pour sa part, adressé, dans un premier temps, un courrier électronique pour nous dire tout l'intérêt qu'il a trouvé à la lecture de ce rapport. Il a fait inscrire à l'ordre du jour d'un des CA de la SMAI l'examen du dossier CNE et nous a fait parvenir, dans un deuxième temps, une contribution écrite présentée dans les pages suivantes. Il nous engage vivement à diffuser largement le rapport et propose les services de la SMAI pour en faire connaître les conclusions sous la forme qui semblera la mieux appropriée (serveur de liste, page Web, article dans *MATAPLI*, le bulletin de liaison de la SMAI...).



Toulouse, le 04 avril 2002

Le Président

Monsieur Gilles BERTRAND
Président du C.N.E.

Monsieur le Président

Le bureau de la CTI et ses experts ont lu attentivement votre rapport sur les mathématiques en écoles d'ingénieurs. Tous tiennent d'abord à vous féliciter pour le travail effectué.

Pour conforter et commenter votre analyse, nous aimerions d'abord rappeler les bases d'une formation d'ingénieur, vue par la commission des titres d'ingénieur.

Ces bases sont orientées autour de trois axes principaux:

- formation scientifique pluridisciplinaire : l'objectif est ici de donner aux étudiants du recul par rapport au savoir faire, une approche rationnelle de la réalité, des capacités d'adaptation et d'innovation, ce qui entraîne une nécessaire proximité de la formation avec la recherche,
- formation humaine : savoir interagir avec l'environnement comprendre les besoins, gérer les projets, travailler en équipe, communiquer,
- formation professionnelle : connaissance de l'entreprise, capacité de participer et de gérer un projet technique en entreprise, de comprendre et évaluer les règles de l'art.

Dans ce contexte, la commission des titres d'ingénieur n'insiste pas trop sur les connaissances techniques (qui peuvent s'acquérir tout au long de la vie) mais préfère juger des formations en termes de capacités acquises en école ou en formation préparatoire (raisonnement, prédiction et calcul, abstraction, gestion de l'aléatoire, modélisation de systèmes complexes) et d'objectifs de formation.

Elle ne tient pas non plus à tracer des frontières trop strictes entre disciplines, et dans ce cadre, elle se félicite de votre initiative regroupant dans la même perspective Mathématiques, Mathématiques Appliquées et Informatique.

Votre rapport conforte deux préoccupations de la commission des titres d'ingénieur évoquées ci-après.

Une insuffisance assez générale sur l'enseignement de l'informatique dans les écoles d'ingénieur traditionnelles, insuffisance d'autant plus criante qu'elle n'est pas en général compensée par la formation acquise en classes préparatoires. Un tel enseignement doit dépasser le cadre des seuls travaux pratiques ou de la manipulation de logiciels, pour intégrer des notions d'algorithmique, et de traitement de l'information au sens large.

.../...

Commission des Titres d'ingénieur - 135, avenue de Rangueil - 31077 Toulouse Cedex 4
Téléphone: 05 61 55 95 01 - Télécopie : 05 61 55 92 80 - mél: president@commission-cti.fr - <http://www.commission-cti.fr>

Greffe CTI : Ministère de l'Éducation Nationale, DES AI 2, 101, rue de Grenelle - 75357 Paris 07SP
Téléphone : 01 55 55 75 06 - Télécopie : 01 55 55 69 78 - mél: greffe@commission-cti.fr

Un éloignement de la recherche. La nécessaire confrontation des étudiants et des enseignants avec la recherche soulignée plus haut, le besoin permanent de remise en cause des programmes en fonction de l'évolution des connaissances, des objectifs de formation, et de l'apparition de nouvelles techniques mathématiques ou informatiques militent pour une proximité des formations d'ingénieur avec le monde de la recherche, en particulier dans les domaines de l'informatique et des mathématiques- Il faut donc pour cela qu'une partie significative des enseignements soit effectuée par des enseignants issus du milieu de l'enseignement supérieur et de la recherche en mathématiques (en particulier appliquées) et informatique.

Il y a cependant une troisième préoccupation de la commission des titres qui est peu traduite dans ce rapport, alors qu'elle apparaît assez souvent dans nos expertises. Objectifs de formation, pertinence des notions enseignées, connaissance du monde de l'entreprise, vue transversale de l'enseignement sont parfois absents des enseignements de mathématique, et des préoccupations de leurs enseignants, ce qui peut conduire à des phénomènes de rejet et de marginalisation très dommageables pour tous.

J'espère que ces différentes remarques pourront compléter utilement votre rapport. En vous remerciant et vous félicitant à nouveau pour votre initiative, je vous prie de croire, Monsieur le Président, à l'expression des mes meilleurs sentiments,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'L. Castex', with a long horizontal stroke extending to the right.

Louis CASTEX

COMPTE RENDU DE RÉUNION ENTRE LA SOCIÉTÉ MATHÉMATIQUE DE FRANCE (SMF) ET LE CNE

Cette réunion s'est tenue le 10 avril 2002.

Étaient présents :

- pour la SMF : Michel Waldschmidt (président de la SMF), Nicole Berline (vice-présidente, chargée des problèmes d'enseignement), Guy Chassé (membre du Conseil d'administration) ;
- pour le comité de pilotage du CNE : Guy Cirier, Christiane Coccozza, Michel Pierre.

Préambule. Cette réunion s'inscrivait dans le cadre de la finalisation de l'évaluation par le CNE des formations universitaires en mathématiques orientées vers les applications. Avant publication du rapport final, un avis a été demandé aux trois sociétés savantes françaises de mathématiques sur le document de synthèse provisoire qui leur a été envoyé. La Société Mathématique de France (SMF) a sollicité une entrevue avec des membres du comité de pilotage afin de faire part de ses remarques et de discuter du document.

Les représentants de la SMF ont tout d'abord souligné combien le travail réalisé leur semblait devoir être utile pour la communauté mathématique et ont insisté sur la nécessité d'une grande diffusion du document publié. Il a déjà été convenu qu'une publicité serait faite dans la *Gazette des mathématiciens* dès le numéro de juin, pour annoncer au moins sa sortie, puis dans le numéro de septembre, de façon plus détaillée, après que le CNE aura procédé à sa diffusion officielle.

À ce sujet, M. Waldschmidt a indiqué combien il aurait, par exemple, aimé disposer des informations contenues dans le document pour une réunion des lundis de la Sorbonne¹ à laquelle il avait participé en décembre 2001 et qui était précisément consacrée aux débouchés des mathématiques.

Ensuite, il a été confirmé que les données factuelles sur la SMF figurant dans le document étaient bien exactes. Plus généralement, il a été discuté des rôles respectifs des sociétés savantes en mathématiques. Comme indiqué dans le document, d'une part, beaucoup d'actions communes sont maintenant mises en place entre la SMF et la SMAI (Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles), d'autre part, il y a aussi matière à projets spécifiques pour les deux sociétés, ainsi d'ailleurs que pour la SFdS (Société Française de Statistique). M. Waldschmidt a suggéré qu'on ajoute les sociétés canadiennes dans la liste des sociétés savantes étrangères figurant dans le rapport : Canadian Applied Mathematical Society (CAMS), qui co-existe avec la Canadian Mathematical Society (CMS).

Bien sûr, il a été discuté de la définition des mathématiques appliquées et aussi des mathématiques "appliquées" versus "pures". Le développement consacré à ce sujet dans le rapport² a été considéré comme pertinent et bien équilibré dans la mesure où il présente objectivement l'histoire des relations entre les communautés de mathématiciens sans occulter les difficultés passées, tout en faisant état des évolutions très positives observées ces dernières années.

En liaison avec ses propres sujets de réflexion, la SMF a été tout particulièrement intéressée par l'étude complémentaire sur les écoles d'ingénieurs.

Un premier point a attiré son attention : le rapport indique que, dans les écoles d'ingénieurs, les mathématiques sont le plus souvent enseignées par des non mathématiciens. La SMF rappelle que les mathématiciens ont une contribution irremplaçable à apporter à la formation des ingénieurs. Certes, dans le passé, les mathématiciens n'ont pas toujours conçu leurs interventions dans la logique de la vision transversale des enseignements des écoles d'ingénieurs.

¹ <http://www.institut.math.jussieu.fr/miw/undi.html>

² cf. le paragraphe IV du chapitre "L'évaluation : objectifs, champ, réalisation, critères".

Il est clair que cette période est révolue et que de plus en plus de mathématiciens ont maintenant acquis une compréhension fine des besoins en connaissances mathématiques pour les applications et s'investissent avec efficacité dans les enseignements de ce type.

Un autre point qui a attiré l'attention de la SMF dans l'étude sur les écoles d'ingénieurs est le choix qui a été fait des domaines considérés comme relevant des mathématiques appliquées. Il lui a semblé qu'ils relevaient souvent de l'analyse mathématique, alors que d'autres domaines des mathématiques prennent depuis quelque temps de l'importance dans les applications comme, par exemple, les mathématiques discrètes avec leurs applications à la cryptographie. Il a aussi été demandé ce qui était appelé "mathématiques de base" dans l'étude. Guy Cirier a rappelé les choix qui ont été faits pour cette étude de nature strictement statistique. Les "mathématiques de base" correspondent *grasso modo* à la continuation et l'approfondissement des sujets mathématiques étudiés dans les classes préparatoires aux grandes écoles. Dans les rubriques de "mathématiques appliquées" figurent des mathématiques plus nouvelles, plus particulièrement utilisées dans les applications d'aujourd'hui : l'analyse mathématique y a une part importante, mais aussi les probabilités et la statistique. Une rubrique est aussi explicitement consacrée aux mathématiques discrètes qui, effectivement, y ont encore à ce jour une importance numérique moindre.

La SMF a fait part de son étonnement de la faible importance de l'enseignement en informatique dans les écoles d'ingénieurs soulignée dans le rapport et dont la constatation s'impose clairement au vu des chiffres.

Une discussion s'est également engagée sur le champ des enseignements qui relèvent ou non des mathématiciens de métier. Ainsi, un débat existe quant à la place de la théorie du signal : est-elle du ressort des mathématiciens ou non ? Dans un domaine tout à fait différent, mais avec une question du même ordre : quel est le rôle du mathématicien dans une formation en actuariat ? Sans vouloir apporter ici une réponse complète, il ressort clairement de cette discussion que les mathématiciens reconnaissent (et revendiquent ?) une responsabilité de plus en plus grande dans ces domaines d'applications et sont convaincus du rôle que les mathématiques doivent et vont y jouer.

Plusieurs autres aspects du rapport ont été passés en revue dans cette réunion : notons, par exemple, les conclusions plutôt négatives sur le suivi (ou le non-suivi !) des étudiants après leur formation universitaire ; ceci dépasse, bien sûr, le seul domaine des mathématiques appliquées, mais cet aspect prend sans doute encore plus d'importance pour des formations à finalité professionnelle.

En conclusion, les représentants de la SMF rappellent tout l'intérêt qu'ils portent au travail réalisé par le CNE, tant pour l'évaluation des formations universitaires et ses conclusions que pour les études complémentaires. Ils insistent sur la nécessité d'une diffusion très large de ce rapport.



À propos du rapport du CNE sur les Mathématiques appliquées

Gilles Pagès et Michel Théra

Cette contribution commente le rapport du CNE et présente l'avis ainsi que les propositions de la SMAI¹

Nous tenons tout d'abord à remercier le CNE et ses nombreux collaborateurs pour l'immense travail résultant d'une enquête (printemps 1999) menée d'une part, auprès de différents établissements de formation et d'entreprises disposant de mathématiciens appliqués et, d'autre part, auprès de personnalités scientifiques en charge de responsabilités au ministère et dans les sociétés savantes.

Par la suite, nous utiliserons l'acronyme (MA) pour désigner les « mathématiques appliquées », c'est-à-dire les « mathématiques motivées par, au moins, une application identifiée hors des mathématiques ». Le rapport du CNE utilise la terminologie « mathématiques orientées vers les applications ». Ce choix souligne la difficulté d'acception dans la communauté du terme de « mathématiques appliquées » pour les mathématiques qui regroupent essentiellement l'analyse numérique et le calcul scientifique, les probabilités et les statistiques, l'optimisation et le contrôle ainsi que les mathématiques discrètes.

1. Les évaluations par filière

La filière des Maîtrises de Mathématiques Mention Ingénierie Mathématique (MIM) constituent une bonne préparation à un DESS constate le rapport. Même si dans l'esprit de nombreux universitaires, elles sont dévaluées par rapport aux maîtrises de mathématiques pures - tout particulièrement en vue de la préparation aux métiers de l'enseignement

La filière des Mathématiques Appliquées aux Sciences Sociales (MASS) propose un échantillon varié de spécialisations au sein des sciences sociales et de l'économie. Cette filière débouche également vers des DESS. La part des mathématiques y est souvent plus faible. En effet, on y privilégie la double et parfois la triple compétence

1

Le rapport est une synthèse des contributions présentées par les membres de la Commission Enseignement (CE) de la SMAI, présidée par Gilles Pagès et composée de Jean-Marc Bonnisseau, Frédéric Bonnans, Marc Briane, Brigitte Lucquin, Nessim Fintz et Jean-Baptiste Hiriart-Urruty.

notamment avec l'informatique. Sans être une règle absolue, Probabilités et Statistiques forment souvent le socle des MA de cette filière. Notons enfin que c'est l'unique filière mathématique à attirer une majorité de filles.

Concernant la filière des IUP, à dominante mathématique, selon le rapport, ces formations ne sont pas réellement professionnalisantes. Tant sur le plan du recrutement (pas ou peu de BTS), que sur celui des débouchés (les étudiants complètent parfois leur formation par un DESS). Une réforme des IUP s'impose pour s'intégrer dans le cadre des 3-5-8.

Le rapport est élogieux sur la qualité de l'enseignement et sur les débouchés de la filière des DESS qui ont un fort taux de réussite. Notamment, elle tire partie et met en valeur l'autonomie acquise par les étudiants à l'université. En revanche, le rapport déplore le manque de suivi des étudiants dû à un manque de soutien administratif et dans une moindre mesure, le trop faible recours à des professionnels ainsi que l'absence de formation continue. Sur ce plan, les DESS souffrent de la comparaison avec les écoles d'ingénieurs. Ils se retrouvent d'ailleurs souvent en compétition sur le marché de l'emploi.

Les DEA sont très disparates. Selon le rapport certains, situés en province, ont du mal à prendre leur élan quand d'autres, aux effectifs pléthoriques, jouent sur tous les tableaux (formation à la recherche, super-DESS...). L'enseignement y est de nature fondamentale, excluant de facto les disciplines non mathématiques, notamment les langues. Les taux de réussite sont hétérogènes, de 25 % à 100 %. Le suivi des étudiants et l'ouverture sur l'extérieur sont insuffisants. Le ton du CNE reste mesuré laissant entrevoir un diagnostic de crise, à mettre peut-être en perspective avec les réformes projetées (master).

Pour conclure sur les évaluations des différentes filières, le CNE souligne le manque de soutien de la tutelle concernant les moyens informatiques (machines, logiciels pour la formation) et le suivi des étudiants en 3e cycle (associations d'anciens, ...). Concernant l'enseignement de l'anglais, le CNE s'inquiète du déficit des stages professionnels en second cycle. Mais il ne mentionne pas les Unités d'Expérience Professionnelle (UEP) créées en 1996. À ce propos, la CE de la SMAI préconise de sortir VUEP de sa relative confidentialité.

Enfin, le CNE s'inquiète de la faiblesse des taux de réussite, particulièrement en Licence (parfois inférieurs à 40 %) et en DEA où ils atteignent des niveaux trop bas, ce qui est inacceptable.

II. Les mathématiques dans les "écoles d'ingénieurs"

En raison de la multiplicité des filières et de la transversalité des mathématiques, la synthèse n'est pas aisée à établir. Néanmoins, il ressort qu'en école d'ingénieurs, l'enseignement des mathématiques, axé sur les mathématiques de base, décroît sensiblement après la 1^{ère} année en même temps qu'il se rapproche des applications. Sans surprise, on relève de fortes disparités selon les filières. Les mathématiques devenant quasiment inexistantes dans les filières chimie ou biologie.

Si le traitement du signal tient une grande place, nous constatons une absence d'ouverture vers les applications notamment la statistique appliquée. À ce sujet, le déficit alarmant et récurrent de la formation reste un problème à examiner. Outre les écoles et instituts déjà cités, on ne compte pas plus d'une demi-douzaine de DESS pour une demande étudiante légèrement supérieure. À court terme, pour des raisons historiques liées au développement de la statistique en France, l'université seule ne semble pas à même de résoudre le problème. Concernant les écoles d'ingénieurs, sans exagération nous pouvons parler d'un véritable problème culturel. En effet, les écoles spécialisées comme l'ENSAE ou PISUP ne sont pas habilitées à délivrer un diplôme d'ingénieur.

L'enseignement des mathématiques, notamment comme discipline de service est, majoritairement, assuré par des spécialistes d'autres disciplines ou par des enseignants du second degré (plus des 3/4). À notre avis, changer cet état de fait passe par un investissement des enseignants dans la modélisation, seul moyen de pérenniser leur intervention dans ce type de cours mais aussi d'attirer leurs étudiants élèves-ingénieurs vers les MA. Ce qui se justifie pour l'enseignement supérieur l'est également pour l'enseignement secondaire car présenter les multiples facettes d'une science, c'est accroître ses attraits.

Le rapport du CNE regrette l'absence dans la plupart des écoles d'ingénieurs de recherche autonome en MA. Une situation, à ce niveau, clairement pénalisante en termes de formation surtout comparée aux autres grands pays européens.

Le rapport du CNE s'achève par une description de plusieurs filières orientées vers les MA dans diverses écoles d'ingénieurs et dans les Ecoles Normales Supérieures. En revanche, il ne mentionne pas les orientations récentes de la Commission des Titres d'Ingénieur concernant le développement de disciplines non scientifiques (langues, culture et communication, management, droit). Aussi sommes-nous en droit de nous demander si les mathématiques sont suffisamment en position de force dans ce rééquilibrage de la formation des ingénieurs s'effectuant au profit de ces disciplines ?

III. Les métiers des mathématiques

Le rapport énumère une liste exhaustive des débouchés professionnels (hors enseignement) proposés aux étudiants de MA. Avec néanmoins, peu de données chiffrées en raison du manque de suivi des étudiants déjà évoqués.

Le CNE analyse le secteur traditionnel de l'ingénierie, c'est-à-dire : automobile, haute technologie, recherche-développement, etc... exigeant des compétences en modélisation, analyse numérique et calcul scientifique. Il aborde aussi les pôles EDP et celui des "probabilités et statistiques" constitué des banques, assurances, télécoms. Le rapport signale également la percée de nouveaux secteurs pluridisciplinaires tels que le biomédical (décodage du génome) et la sécurité de l'information (codage). Des compétences multiples en statistique, informatique (programmation et maîtrise de gros logiciels professionnels) et en mathématiques fondamentales (théorie des nombres, calcul formel) sont requises.

Ceci traduit la tendance lourde des entreprises en quête de profils pluri-culturels dotés d'une connaissance dans le domaine des MA, d'une spécialisation et de compétences informatiques associées.

Dans sa conclusion, le rapport du CNE dresse le portrait-robot du mathématicien appliqué "idéal" : capacités d'abstraction et de rigueur, ouverture aux autres disciplines et aptitude pour le travail en équipe. Insistons avec le rapport sur deux activités clés du mathématicien appliqué en entreprise : modélisation et simulation. Toute formation en MA se doit donc d'armer ses étudiants dans ces domaines.

Les messages, qui se dégagent du rapport du CNE concernant les métiers des mathématiques, sont multiples. Certains d'entre eux méritent d'être affirmés avec force :

- Contrairement à une idée communément répandue, d'autres débouchés professionnels en dehors de l'enseignement sont envisageables, par exemple en MA. Aujourd'hui, la majorité des métiers des mathématiques ne se situent plus exclusivement dans l'enseignement et la recherche académique mais aussi dans des domaines tels que la statistique appliquée, le calcul scientifique, l'optimisation, la recherche opérationnelle où d'importants besoins se font sentir. Il est étonnant à cet égard que le rapport du CNE ne mentionne pas plus explicitement la recherche opérationnelle, la programmation linéaire et les activités connexes.

- À l'inverse, les formations de MA doivent pouvoir conduire aux métiers de l'enseignement et de la recherche. Aussi un enseignement de MA reste avant tout, en particulier dans les seconds cycles non professionnalisants, un enseignement de mathématiques.

- Tout enseignant de mathématiques, notamment dans le secondaire, devrait pouvoir justifier d'une formation comportant, en proportion certes variable, des mathématiques pures et appliquées. En appréhendant très tôt les mathématiques dans leur diversité, nous pouvons espérer voir une plus grande partie des élèves y trouver les germes d'une vocation. En dépit de tentatives ces dernières années, la question du programme du CAPES de mathématiques reste entière. Il s'agit de moderniser ce concours, un peu à l'image de ce qui a été fait pour la récente réforme de l'Agrégation.

LEXIQUE DE
QUELQUES TERMES
MATHÉMATIQUES

ACTUARIAT

Activité professionnelle, accomplie par les actuaires, qui utilise les techniques de la statistique, des probabilités et de la théorie du risque pour résoudre des problèmes financiers comportant une part d'incertitude. Les actuaires sont les spécialistes des risques financiers encourus par les banques, les assurances, ou les organismes de sécurité sociale. Ils doivent mener des calculs, par exemple pour fixer les montants des primes d'assurance à des niveaux jugés "optimaux" compte tenu des risques réels ou potentiels. Au-delà des sociétés d'assurances (vie ou IARD) et des banques, les actuaires trouvent à utiliser toutes les techniques de l'actuariat (mathématiques, informatique, économie, droit) comme experts-conseils dans l'immobilier, dans les organismes de gestion des retraites ou dans des bureaux d'études.

ALGORITHMIQUE

L'algorithmique regroupe les techniques de conception, d'évaluation et de mise en œuvre optimisée des algorithmes utilisés en informatique et en mathématiques. Un algorithme est une suite finie d'opérations simples réalisées dans un ordre déterminé et dans un temps que l'on cherche à minimiser. Il existe une immense variété d'algorithmes effectuant, par exemple, des opérations de calcul de constantes, de résolution d'équations, de tri, de parcours de bases de données, de recherche de nombres premiers, etc.

ANALYSE NUMÉRIQUE

L'analyse numérique est une discipline mathématique qui regroupe l'ensemble des méthodes qui permettent de réaliser des calculs au moyen de l'ordinateur dans des domaines aussi variés que la physique, les sciences sociales, les sciences de l'ingénieur ou la biologie. Dans tous ces domaines, il faut pouvoir réaliser des approximations d'une réalité souvent complexe, continue, (décrites au moyen d'un système d'équations à dérivées partielles, par exemple) par des calculs qui utilisent des nombres à précision limitée. Le recours à l'informatique et à l'algorithmique est constant et donne des solutions approximatives. On évalue les méthodes de l'analyse numérique suivant des critères de précision, de stabilité et de performance en termes de convergence vers la vraie solution.

CRYPTOGRAPHIE

On pourrait dire schématiquement que c'est la science des codes secrets. Protéger des regards indiscrets la transmission d'informations sensibles a toujours historiquement été nécessaire. Pour protéger l'information, on la transforme (on dit "chiffrer") grâce à une clé secrète puis, après réception, le message est déchiffré par la même clé. On parle alors de cryptage symétrique. Cette méthode a le désavantage de reposer sur cette clé secrète, qu'il ne faut en aucun cas diffuser.

L'utilisation intensive des techniques informatiques a considérablement fait avancer les techniques de la cryptographie. Il est devenu vital de protéger la transmission et le stockage d'informations aussi variées que les messages électroniques, les numéros de carte bancaire ou les données d'entreprise. On a vu apparaître et s'imposer des méthodes de cryptographie à deux clés (on parle de cryptage asymétrique) : une clé publique qui peut être diffusée et une clé privée que seul le vrai destinataire pourra utiliser.

La sécurité des transmissions s'impose avec l'utilisation des applications des réseaux informatique et de l'Internet : commerce électronique, mouvements financiers, courrier électronique, données personnelles et professionnelles, signature électronique, etc.

DATA MINING

Ensemble de méthodes et d'outils utilisés pour analyser de grandes bases de données et rechercher des relations inattendues entre les données. Le *data mining* utilise des techniques logicielles pour "fouiller" de gigantesques bases de données et y faire apparaître des associations, des similarités ou des corrélations entre les informations. On utilise le *data mining* aussi bien pour repérer des typologies de comportements d'achat que des modifications de satisfaction des clients de la téléphonie mobile, etc. Le *data mining* fait appel à la fois aux techniques statistiques de classification, aux méthodes de représentation efficace des données, aux méthodes de discrimination et aux algorithmes rapides.

ÉQUATION AUX DÉRIVÉES PARTIELLES

Dans de nombreux problèmes, et notamment en physique, on utilise des équations dont la solution recherchée dépend de plusieurs variables et des variations (dites dérivées partielles) de cette solution vis à vis de petites évolutions de ces variables. Les problèmes représentés par une ou des équations aux dérivées partielles sont très complexes et il existe très peu de cas possédant une solution analytique. Les résolutions analytiques s'appliquent à des équations simples. Le recours aux méthodes numériques (empruntées à l'analyse numérique) est la seule voie pour fournir une solution approchée au système complexe qui a été construit. Les champs les plus classiques d'utilisation des équations aux dérivées partielles sont ceux de la physique, la thermodynamique ou de la mécanique.

MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS

C'est une méthode de l'analyse numérique pour la résolution d'équations complexes. Elle consiste à remplacer des valeurs continues par des valeurs discrètes, régulièrement espacées. On emploie la méthode des éléments finis (MEF) pour s'attaquer à des problèmes particulièrement ardues et dont la géométrie est complexe. Dans ces problèmes, il n'existe pas de méthodes analytiques pour trouver la solution. Le point de départ de la méthode est la subdivision d'un domaine de la structure étudiée en plus petits domaines, nommés éléments de dimension finie. Bien que les éléments ne soient pas toujours des triangles, on dit que ces subdivisions forment une triangulation. Les sommets de ces éléments forment des nœuds. L'ensemble éléments et nœuds forment le maillage de la méthode. L'approximation est calculée sur chaque nœud, ce qui permet de représenter l'ensemble par un système d'équations.

Avec la diffusion des logiciels de CAO (conception assistée par ordinateurs), la méthode des éléments finis a été utilisée dans une grande variété d'applications en mécanique des solides ou des fluides, en thermodynamique, en électromagnétisme, etc. Exemple en mécanique des solides : calculs d'efforts sur des ouvrages d'art.

ONDELETTES

L'analyse par ondelettes consiste à décomposer un signal (ou une image) en un ensemble hiérarchisé d'approximations et de détails. Les ondelettes sont une extension de l'analyse de Fourier, cette dernière consistant à décomposer une fonction mathématique arbitraire en une somme de sinusoides de différentes fréquences. Cependant, l'inconvénient de l'analyse de Fourier est qu'elle gomme l'aspect "local" (spatial ou temporel) des événements étudiés.

Malgré une origine aux nombreuses racines, on attribue le point de départ de l'utilisation des ondelettes au géophysicien Jean Morlet, qui envisageait de les utiliser pour l'analyse de sismogrammes utilisés dans la recherche de pétrole sous terre. Dans la transformation par ondelettes, comme d'ailleurs dans l'analyse de Fourier, on cherche à transformer un signal quelconque en une série de nombres que l'on pourra ensuite utiliser pour reconstruire au mieux le signal d'origine. Cependant dans la transformation par ondelettes, on utilise plusieurs niveaux de résolution pour examiner le signal et en faire ressortir les différentes variations. On a ainsi parlé à propos de cette technique de "microscope mathématique". Les ondelettes ont des applications pratiques nombreuses et variées : détection de vibrations dans les systèmes mécaniques, amélioration d'images aux contours flous, compression de signal et de l'information, écoulements turbulents en aérodynamique.