

ÉTUDE  
COMPLÉMENTAIRE

2



## **LES DÉBOUCHÉS POUR LES DIPLÔMÉS EN MATHÉMATIQUES**



## I - ÉTUDE DES DÉBOUCHÉS : OBJECTIFS, MÉTHODOLOGIE

### 1 - OBJECTIFS

L'objectif principal de l'étude est le suivant : mettre en évidence, dans l'industrie et les services, les secteurs demandeurs de compétences en mathématiques, la nature des compétences attendues dans ces secteurs, les différents métiers offerts, ainsi que le degré de satisfaction des employeurs par rapport à l'offre des formations dans ce domaine en France ; donner une appréciation sur l'adéquation de ces formations aux besoins des entreprises, puis formuler quelques recommandations à l'attention des décideurs et acteurs concernés, complétant ainsi le travail d'évaluation des formations.

### 2 - MÉTHODOLOGIE

Pour atteindre cet objectif, des informations ont été recueillies par voie documentaire puis par entretiens et elles ont été croisées pour présenter les résultats globaux de l'étude.

**Les sources documentaires.** Ont été exploitées :

- les réponses au questionnaire envoyé par le CNE aux départements de mathématiques des universités, sur le thème "débouchés offerts dans les domaines des mathématiques appliquées" (25 questionnaires) ;
- les conclusions de rapports d'expertise sur le thème "débouchés" (15 rapports d'expertise) ;
- "*Les mathématiques dans la vie quotidienne*", plaquette publiée par la Société mathématique européenne à l'occasion de l'année mondiale des mathématiques ;
- les plaquettes et publications des sociétés savantes de mathématiques : SFdS- SMF - SMAI<sup>1</sup>.

Ces sources documentaires ont notamment contribué aux exemples d'applications des mathématiques présentés dans le tableau de synthèse du paragraphe II.

**Les entretiens.** 25 entretiens ont été menés auprès de différents interlocuteurs :

- entreprises appartenant à des secteurs industriels et de services qui recrutent des jeunes mathématiciens ;
- sociétés savantes de mathématiques : SFdS - SMF - SMAI<sup>1</sup> ;
- responsables de formation de DESS-DEA ayant une bonne connaissance des débouchés pour leurs étudiants.

Les entretiens ont été conduits suivant un guide d'entretien spécifique à chaque catégorie d'interlocuteur<sup>2</sup>.

Si chaque type d'interlocuteur a été entendu sur des questions le concernant plus particulièrement, il a aussi donné son point de vue sur des thématiques communes à l'ensemble des entretiens menés. Les points de vue des sociétés savantes et des responsables de formation ont permis, sur des thèmes comparables, d'appuyer, de compléter, voire de nuancer ceux des entreprises, et inversement. La structure choisie pour présenter les résultats traduit des tendances de fond qui ont émergé d'une analyse transversale de l'ensemble du matériau recueilli.

### 3 - PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les résultats sont présentés en deux phases :

- sous forme d'un tableau de synthèse à l'intérieur duquel sont mis en évidence les secteurs de débouchés, les applications mathématiques dans ces secteurs, les outils et méthodes, les compétences requises<sup>1</sup>.
- sous forme de commentaires autour de dix thèmes environ, évoquant les caractéristiques fortes au niveau des débouchés, des recrutements, des applications en mathématiques et des formations porteuses<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> SFdS : Société française de statistique ; SMF : Société mathématique de France ; SMAI : Société de mathématiques appliquées et industrielles.

<sup>2</sup> On se reportera aux annexes : Annexe 1 - Guide d'entretien secteurs industriels ; Annexe 2. - Guide d'entretien responsables de DESS-DEA ; Annexe 3 - Guide d'entretien SMF, SMAI, SFdS.

## II - LE TABLEAU DE SYNTHÈSE

Ce tableau correspond à une photographie de la situation actuelle. Des évolutions peuvent donc être observées. Les exemples pris ne sont d'ailleurs pas exhaustifs, n'épuisent pas toute la diversité, même s'ils couvrent déjà un champ assez large .

Ce tableau est commenté dans les paragraphes III à VIII suivants.

On peut se référer au lexique en fin de rapport pour les définitions de quelques termes mathématiques utilisés dans ce tableau. Exemples : cryptographie, *data-mining*, EDP (équations aux dérivées partielles) etc.

PRINCIPAUX DÉBOUCHÉS	Quelques exemples d'applications des mathématiques	Outils mathématiques requis	Disciplines et méthodes utilisées	Compétences fortes à maîtriser
<p>Les Banques</p> <p>FINANCE ET RISQUES</p>	<p>1- Communiquer des messages à l'abri des indiscretions (exemple : messages transmis par carte bleue).</p>	<p><b>Théorie des nombres premiers ; Factorisation des grands nombres ; Mathématiques discrètes.</b></p>	<p><b>Cryptographie ;</b> Algorithmique, recours à des algorithmes complexes pour compiler la tâche des "pirates" informatiques aidés par la puissance des ordinateurs.</p>	<p><b>Compétence fortes en mathématiques et informatique</b>, sur fond de culture mathématique assez étendue.</p>
	<p>2 - Mise en place de bases de données. (exemple : repérage des clientèles à risques, typologie de clientèles). Exploitation de ces bases. Création de modèles sur la base des données stockées. Test du caractère généralisable des modèles créés.</p>	<p><b>Outils statistiques et probabilités.</b></p>	<p><b>Analyse de données ;</b> Classification ; Algorithmique ; Modélisation en statistique et économétrie.</p>	<p>Compétences assez pluridisciplinaires. <b>Une connaissance large des outils récents</b> de mathématiques appliquées en <b>statistique-probabilité-stochastique-mathématiques financières et actuariat ;</b> <b>La connaissance de logiciels "lourds" (exemple : SAS)</b> et de techniques informatiques (avoir des compétences en gestion de base de données).</p>
	<p>3 - Fixer les prix des divers produits-services proposés (contrats à terme, options) en intégrant les risques qui sont aléatoires parce qu'ils sont liés à de nombreux facteurs peu maîtrisables. L'imprévu et le hasard ont un "poids" important ici.</p>	<p><b>Théorie des probabilités</b> (processus stochastiques) ; <b>Outils statistiques</b> (collecte d'informations sur bases historiques).</p>	<p><b>Méthode de prévision statistique ;</b> <b>Modélisation ;</b> <b>Actuariat.</b></p>	<p>Compétences assez pluridisciplinaires. <b>Une connaissance large des outils récents</b> de mathématiques appliquées en <b>statistique-probabilité-stochastique-mathématiques financières et actuariat ;</b> <b>La connaissance de logiciels "lourds" (exemple : SAS)</b> et de techniques informatiques (avoir des compétences en gestion de base de données).</p>
	<p>4 - Evaluer les risques financiers (exemples : risques des marchés d'actions et risques de crédit sur les clients), en interaction avec la réglementation qui évolue beaucoup. Cette réglementation mouvante articulée sur des standards internationaux et européens incite à développer des "modèles maison" très élaborés d'évaluation des risques. L'imprévu et le hasard ont un "poids" important ici.</p>	<p><b>Outils statistiques</b> (collecte d'informations sur des bases historiques) ; <b>Probabilités ;</b> <b>Outils stochastiques ;</b> <b>Un peu les EDP</b>, pour évaluer les risques de baisse brutale des cours de bourses, par exemple.</p>	<p><b>Statistique ;</b> <b>Probabilités de façon dominante ;</b> <b>Un peu d'EDP</b> de façon marginale.</p>	<p>Compétences assez pluridisciplinaires. <b>Une connaissance large des outils récents</b> de mathématiques appliquées en <b>statistique-probabilité-stochastique-mathématiques financières et actuariat ;</b> <b>La connaissance de logiciels "lourds" (exemple : SAS)</b> et de techniques informatiques (avoir des compétences en gestion de base de données). <b>La culture probabiliste et statistique s'impose ici</b>, plus que la culture EDP. Les outils maîtrisés doivent être novateurs, donc proches des résultats de la recherche.</p>

PRINCIPAUX DÉBOUCHÉS	Quelques exemples d'applications des mathématiques	Outils mathématiques requis	Disciplines et méthodes utilisées	Compétences fortes à maîtriser
<p>Les marchés pour des fonctions de trader. Salle des marchés (places de Londres, Paris, etc.)</p>	<p>Intervention d'opérateurs sur le marché des actions, des obligations.</p>	<p><b>Statistiques ;</b> <b>Probabilités</b> (processus stochastiques) ; <b>Outils mathématiques appliqués aux finances.</b></p>	<p><b>Modélisation financière.</b></p>	<p>Une bonne maîtrise <b>des outils mathématiques</b> (Statistiques-probabilité pour l'utilisation en avenir incertain), et <b>Informatique</b> (représenter l'information d'un modèle mathématique), ainsi qu'une <b>solide culture dans les techniques financières et économiques recourant aux outils mathématiques.</b></p>
<p>FINANCE ET RISQUES (suite)</p>	<p>1 - Conception de produits en fonction de typologies de clientèles. Études statistiques, financières et économiques portant sur les produits-services de l'assurance.</p>	<p><b>Actuariat</b> (mathématiques appliquées à la finance, à l'assurance).</p>	<p><b>Techniques de modélisation.</b></p>	<p><b>Il faut ici savoir maîtriser l'aléatoire et la complexité.</b> <b>La double compétence mathématiques et informatique est très recherchée, ainsi que les mathématiques appliquées à la finance et à l'assurance.</b></p>
<p>Les Sociétés d'assurance</p>	<p>2 - Gestion d'actif (exemple : placement de fonds dans les banques). Gestion de passif (exemple : contrats d'assurance avec des risques). Fusion et acquisition.</p>	<p><b>Mathématiques financières ;</b> <b>Techniques de modélisation.</b></p>	<p>Statistique et Informatique ; Maîtrise de "gros" logiciels.</p>	<p>Statistique et Informatique ; Maîtrise de "gros" logiciels.</p>
	<p>3 - Création de banques de données sur les clients (Étude du comportement, typologie).</p>	<p><b>Outils statistiques.</b></p>		
	<p>4 - Analyse de données en provenance des feuilles de sécurité sociale. Exemple : à la CNAM (Caisse nationale d'assurance maladie).</p>			

PRINCIPAUX DÉBOUCHÉS	Quelques exemples d'applications des mathématiques	Outils mathématiques requis	Disciplines et méthodes utilisées	Compétences fortes à maîtriser
<p>Instituts de sondage et de statistiques et des Ressources publicitaires</p>	<p>1 - Concevoir des systèmes d'informations sur les médias (exemple : faire des typologies de clientèle. Créer et suivre des panels). Exploiter et faire évoluer ces systèmes.</p> <p>2 - Faire des mesures d'audience sur les médias (télévision, radio, Internet). L'enjeu est énorme, car l'annonce des mesures d'audience attire ou éloigne des célébrités. La marge d'erreur doit donc être la plus petite possible.</p>	<p><b>Outils statistiques</b> (techniques des sondages en amont des études-Analyse des données en aval) ; <b>Outils probabilistes</b> (car il faut maîtriser l'aléatoire).</p>	<p><b>Techniques de sondage et techniques d'échantillonnage</b> (en amont pour collecter l'information) ; <b>Analyse des données, modélisation et recours à l'informatique</b> (en aval pour exploitation de données).</p>	<p><b>Couplage Statistique-probabilités</b> (en univers aléatoire), et <b>informatique</b> (recours à l'outil informatique grâce à la puissance de calcul).</p>
<p>CONSEIL INGÉNIERIE Traitement de l'information</p>	<p>Exemple : aide à la décision stratégique d'entreprises ou à la décision commerciale marketing.</p>	<p><b>Statistique</b> (régression statistique) ; <b>Maîtrise de "gros" logiciels</b> (SAS, etc).</p>	<p><b>Analyse de données ;</b> <b>Méthodes d'aide à la décision ;</b> <b>Prévisions ;</b> <b>Optimisation.</b></p>	<p><b>Une double compétence est nécessaire ici en gestion et en statistique informatique.</b> La gestion permet de comprendre le contexte dans lequel les outils statistiques s'appliquent.</p>
<p>Sociétés de consulting</p>	<p>1 - Création de logiciels pour le compte de grandes entreprises qui sollicitent la SSII.</p>	<p><b>Calcul scientifique ;</b> <b>EDP.</b></p>	<p><b>Modélisation mathématique et numérique.</b></p>	<p><b>Le génie logiciel est une forte compétence à avoir.</b></p>
<p>SSII : Sociétés de développement de logiciels "grosses sociétés ou plus petites"</p>	<p>2 - Implantation et exploitation de grandes bases de données pour le compte de clients.</p>	<p><b>Informatique</b> pour la partie implantation ; <b>Statistique</b> pour la partie exploitation (pour le suivi de production ou marketing).</p>	<p><b>Modélisation ;</b> <b>Méthodes d'aide à la décision</b> par traitement intelligent des données (exemple : "Data mining").</p>	<p><b>Double compétence Statistique</b> (analyse des données : le "Data mining" par exemple, et <b>Informatique</b> (maîtrise de la gestion des bases de données).</p>



PRINCIPAUX DÉBOUCHÉS	Quelques exemples d'applications des mathématiques	Outils mathématiques requis	Disciplines et méthodes utilisées	Compétences fortes à maîtriser
<p>Imagerie traitement de l'image. Transmission de l'information. Beaucoup dans le secteur audiovisuel (télévision, cinéma, multimédias-net). Domaine médical aussi.</p> <p>CONSEIL INGÉNIERIE Traitement de l'information (suite)</p>	<p>1 - Analyse de photos aériennes ou satellitaires. Transmission d'images par Internet. Envoi de photos numériques par téléphone portable.</p> <p>2 - Imagerie médicale. L'imagerie numérique permet d'introduire des aides à la décision médicale. (exemple : les images au scanner qui sont obtenues par des algorithmes numériques).</p> <p>3 - Téléphonie portable, signal radio. Transmission de messages parfaitement audibles et fidèles.</p> <p>4 - Fondation de cartes à puces (exemples : entreprises comme SAGEM, Bull Schlumberger, Oberthur). Ces entreprises sont à la recherche d'algorithmes sûrs, ceux qui empêcheront le piratage des codés et qui tiendront peu de place sur la carte à puces. Communiquer des messages à l'abri des indiscretions.</p>	<p><b>Traitement du signal</b>, pour comprimer l'information à transmettre dans un canal de communication. <b>Théorie des codes correcteurs d'erreurs.</b></p> <p><b>EDP</b>, pour restaurer une image claire à partir d'une image floue, il faut passer par un traitement mathématique approprié. <b>Méthodes statistiques</b>, pour l'image en dehors de l'imagerie médicale.</p> <p><b>Théorie des probabilités et théorie des ondeslettes.</b></p> <p><b>Calcul formel ;</b> <b>Algèbre appliquée ;</b> <b>Mathématiques discrètes ;</b> <b>Théorie des graphes.</b></p>	<p><b>Mathématiques</b> (problème de représentation à résoudre : ici d'une image). <b>Informatique</b> (réduire la place de l'image, donc la coder).</p> <p><b>Techniques mathématiques et informatiques.</b></p> <p><b>Probabilités et informatique.</b></p> <p><b>Cryptographie ;</b> <b>Codage ;</b> <b>Algorithmique.</b></p>	<p><b>Mathématiques</b> (techniques d'analyse et théories complexes de probabilités), <b>appliquées à l'informatique et aux nouvelles technologies de communication.</b></p> <p><b>Marché qui rapproche plusieurs disciplines</b> (mathématique-informatique et médecine), sur lequel on a du retard en France.</p> <p><b>Mathématiques</b> (techniques d'analyse et théories complexes de probabilités), <b>appliquées à l'informatique et aux nouvelles technologies de communication.</b></p> <p><b>Mathématiques et informatique</b> sur fond de culture mathématique assez large avec une accentuation sur l'algèbre appliquée. En informatique, recours aux langages les plus performants pour le calcul numérique.</p>
	<p>Communiquer des messages à l'abri des indiscretions (exemple : pour le commerce électronique. Assurer l'intégrité et l'authenticité des messages communiqués par la voie électrique.</p>	<p><b>Théorie de la complexité et théorie algébrique des nombres</b> (cryptosystème RSA). <b>Probabilités-statistiques appliquées à la théorie de l'information.</b></p> <p><b>Compétences fortes en mathématiques et informatique</b> sur fond de culture mathématique assez large.</p>		

PRINCIPAUX DÉBOUCHÉS	Quelques exemples d'applications des mathématiques	Outils mathématiques requis	Disciplines et méthodes utilisées	Compétences fortes à maîtriser
Aéronautique	1 - Simulation des conséquences de la foudre qui atterrirait un avion en plein vol. Calculs aérodynamiques, de structures mécaniques.	<b>EDP ; Calcul scientifique.</b>	<b>Optimisation, modélisation ; Méthode des éléments finis.</b>	<b>Compétences requises pluridisciplinaires ;</b> Outils mathématiques solides dans plusieurs sous-disciplines ; Informatique, génie du logiciel ; Traitement de l'image ; Mécanique des solides et des fluides.
	2 - étude de sûreté-fiabilité.	Probabilités-statistiques		
Aérospatiale	Envoi d'engins spatiaux de type sondes satellites sur orbites au moindre coût et avec la plus grande précision. La détermination de la trajectoire optimale d'une sonde, le lancement et le maintien sur orbite d'un satellite nécessitent une grosse consommation de calculs et de mathématiques.	<b>EDP</b> pour la résolution des équations (exemple : équations en mécanique des fluides) ; <b>Outil formel</b> (mathématiques appliquées à l'informatique) ; <b>Intégration numérique.</b>	<b>Théorie du contrôle optimal</b> (recherche d'une trajectoire qui utilise au mieux les attractions gravitationnelles des divers astres afin de minimiser le carburant utilisé par la sonde) ; <b>Mécanique céleste</b> (étude du mouvement des corps sous l'effet des forces gravitationnelles) ; <b>Analyse numérique pour la résolution de modèles très complexes</b> (recours à l'ordinateur et aux solutions approchées) ; <b>Traitement de l'image.</b>	Etre capable de développer des modèles mathématiques à partir d'équations, de réaliser et de faire évoluer des logiciels complexes. <b>Le couplage mathématique-informatique permet de modéliser, simuler, faire du calcul numérique et c'est une compétence très recherchée.</b>
	1 - Prévion des appels. Optimisation du développement de réseau. Aide à la sélection de nouveaux services.	<b>Outils statistiques ; Outils probabilistes et stochastiques</b> (univers incertain).	<b>Modélisation mathématique ; Optimisation</b> pour prévisions ; <b>Aide à la décision.</b>	<b>Forte maîtrise des méthodes de modélisation, d'optimisation et aide à la décision</b> en mathématiques.
Télécommunications	2 - Correction des erreurs de transmission sur le téléphone portable.	<b>Algèbre appliquée ; Calcul formel</b> (mathématiques appliquées à l'informatique pour les codes correcteurs).	<b>Cryptographie ; Codage ; Algorithmique</b> , pour comprendre les logiciels de calcul.	<b>Mathématiques et informatique</b> sur fond de culture mathématique assez large.

RECHERCHE  
DÉVELOPPEMENT  
(grandes  
entreprises et  
organismes  
de recherche)

PRINCIPAUX DÉBOUCHÉS	Quelques exemples d'applications des mathématiques	Outils mathématiques requis	Disciplines et méthodes utilisées	Compétences fortes à maîtriser
<p>RECHERCHE (grandes entreprises et organismes de recherche) (suite)</p>	<p>Automobile, Pneumatiques</p>	<p><b>Calcul scientifique, EDP</b> (pour résolution d'équation complexes) ; <b>Analyse fonctionnelle.</b></p>	<p><b>Modélisation</b>, avec un modèle mathématique rendant compte des lois physiques auxquelles obéissent toutes les structures en jeu (lois mécaniques et physiques, lois biologiques et médicales) ; <b>Méthode des éléments finis</b>, qui permet de calculer numériquement une solution approchée.</p>	<p><b>Maîtrise des compétences en mathématique</b>, (calcul scientifique, EDP, analyse numérique), <b>en mécanique des solides et en informatique</b> (pour simulation sur ordinateur en raison de la puissance de calcul requise.</p>
	<p>1 - Étude de la contribution dynamique du pneu au confort du véhicule. Couplage du train, de la suspension, de la roue et du pneu pour mesurer par des techniques des simulation le confort vibratoire du véhicule en mouvement.</p>	<p><b>Analyse numérique ;</b> <b>Algèbre linéaire.</b></p>	<p><b>Modélisation mathématique et statistique ;</b> <b>Simulation ;</b> <b>Analyse numérique.</b></p>	<p><b>Compétences bidisciplinaires : mathématique</b> (calcul scientifique et EDP surtout), et <b>informatique</b> (simulation).</p>
	<p>2 - Automobile : simulation par ordinateur de chocs d'accidents et des dommages qui en découlent au plan corporel, afin d'apporter des réponses pour améliorer la sécurité des conducteurs et passagers.</p>	<p><b>Statistique.</b></p>	<p><b>Modélisation mathématique et statistique ;</b> <b>Simulation ;</b> <b>Analyse numérique.</b></p>	<p><b>Compétences bidisciplinaires : mathématique</b> (calcul scientifique et EDP surtout), et <b>informatique</b> (simulation).</p>
<p>3 - Programmation et analyse des essais. Tests.</p>	<p>Simulation d'explosion nucléaire. Prévion des accidents. Détection des défauts des circuits de refroidissement.</p>	<p><b>EDP ;</b> <b>Calcul scientifique.</b></p>	<p>Domaine énergie</p>	

<b>PRINCIPAUX DÉBOUCHÉS</b>	Quelques exemples d'applications des mathématiques	Outils mathématiques requis	Disciplines et méthodes utilisées	Compétences fortes à maîtriser
<p><b>LOGISTIQUE ET GESTION DE PRODUCTION</b></p> <p>Domaine divers (essentiellement des grandes entreprises appartenant à divers secteurs)</p>	<p>1 - SNCF : quelle politique tarifaire faut-il pratiquer pour assurer le remplissage optimal des trains ?</p>	<p><b>Techniques probabilistes</b></p>	<p><b>Optimisation.</b></p>	
	<p>2 - Problème logistique : comment mettre les points de stockage et les entrepôts à des points stratégiques sur un espace géographique défini pour maîtriser au mieux les délais et les coûts de stockage ?</p>		<p><b>Techniques de recherche opérationnelle.</b></p>	<p><b>Optimisation.</b></p>
	<p>3 - Contrôle des aléas dans les chaînes de fabrication pour minimiser les pannes, les rebuts. Repérer "comment cela fonctionne et comment cela tombe en panne".</p>	<p><b>Techniques probabilistes ; EDP</b></p>	<p><b>Modélisation mathématique et statistique ; Simulation numérique</b> (évaluation du "futur probable" sur fond d'expérience passée), <b>maîtrise de logiciels</b> (physique-mécanique) .</p>	<p><b>Compétences bidisciplinaires mathématique</b> (probabilités-statistique et EDP surtout), et <b>informatique</b> (simulation).</p>
	<p>4 - Optimisation des ateliers. Gestion des flux tendus. Contrôle de qualité et des coûts.</p>		<p><b>Optimisation.</b></p>	
	<p>5 - Domaine du pneumatique : test de résistance des matériaux à la déformation. Repérer les procédés d'élaboration qui vont permettre d'agir sur la sûreté et la fiabilité du fonctionnement. Autre exemple, de pratique de ces tests : les skis (nombreux modèles à tester avant de les mettre sur le marché).</p>	<p><b>Calcul scientifique, EDP</b> (pour résolution d'équations complexes). <b>Analyse fonctionnelle ; Analyse numérique ; Algèbre linéaire ; Probabilités et statistique</b> pour les tests de sûreté et fiabilité.</p>	<p><b>Modélisation mécanique ; Simulation ; Méthode des éléments finis.</b></p>	<p><b>Maîtrise des compétences en : mathématiques</b> (calcul scientifique, EDP, analyse numérique) ; <b>mécanique des solides ; Informatique</b> (pour simulation sur ordinateur, ce dernier offrant la puissance de calcul requise).</p>

PRINCIPAUX DÉBOUCHÉS	Quelques exemples d'applications des mathématiques	Outils mathématiques requis	Disciplines et méthodes utilisées	Compétences fortes à maîtriser
<p>MARKETING ET GESTION COMMERCIALE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL ET DE SERVICES</p> <p>Grandes entreprises et plus petites. Aussi dans les services marketing</p>	<p>Quelques exemples d'applications des mathématiques</p> <p>1 - Etude du comportement des consommateurs en vue d'établir des typologies de clientèles pour adapter les produits-services vendus.</p> <p>2 - Analyse de données multiples en provenance du marché, de la clientèle.</p>	<p>Outils statistiques, de prévision régression ;</p> <p>Outils informatiques, connaissance de "gros" logiciels.</p>	<p>Méthode d'analyse des données, y compris méthode d'analyse textuelle en aval des sondages (méthodes qui consistent à rapprocher des mots-clefs identiques pour repérer les points de vue convergents).</p>	<p>Les compétences requises ici sont à la frontière entre trois disciplines : <b>gestion commerciale, statistique et informatique.</b></p> <p>La gestion permet de comprendre le contexte dans lequel les outils statistiques et informatiques s'appliquent.</p>

PRINCIPAUX DÉBOUCHÉS	Quelques exemples d'applications des mathématiques	Outils mathématiques requis	Disciplines et méthodes utilisées	Compétences fortes à maîtriser
<p>Industries médicales : pharmacie, laboratoires.</p>	<p>1 - Exploitation de données scientifiques issues du laboratoire (exemple : résultats d'essais cliniques) en vue d'une prise de décision, (exemple : pour obtenir l'autorisation de mettre sur le marché un nouveau médicament).</p> <p>2 - Test de fiabilité des modèles créés afin de valider les protocoles mis en place par les chercheurs.</p> <p>3 - Analyse statistique de résultats expérimentaux.</p> <p>4 - Conception et gestion de bases de données (Ex : lorsqu'il faut faire des bilans biologiques sur de nombreux patients à partir de plusieurs paramètres).</p>	<p><b>Outils statistiques et probabilités.</b></p>	<p><b>Statistique et informatique</b>, appliqués à la biologie, la chimie.  <b>Modélisation pour aider à la décision</b>, (ex : l'évaluation de l'élimination de certains médicaments).</p>	<p>Des compétences couplées sont nécessaires ici : <b>Statistique-mathématiques-informatique, chimie, biologie.</b>                      La biologie, et la chimie permettent de comprendre le contexte dans lequel les outils statistiques et informatiques doivent s'appliquer.</p>
<p>MÉDICAL ET BIO-MÉDICAL</p> <p>Recherche sur l'évolution des maladies de l'homme, mais aussi du vivant en général. (plantes-poissons...)                      Instituts de recherche, CHU</p>	<p>1 - Recherche sur le génome. Les laboratoires privés et publics investissent beaucoup sur ces recherches pour comprendre les mécanismes de la vie, pour répondre à des enjeux médicaux (le traitement de maladies génétiques), des enjeux agricoles (ex : l'amélioration des plantes).</p> <p>2 - Recherche sur le cancer et ses évolutions prévisibles</p>	<p><b>Outils statistiques ; Théorie des probabilités ;</b>                      Outils informatique et autres outils mathématiques.</p> <p>Contrôle dynamique ;                      Processus stochastiques.</p>	<p>Algorithmique.</p>	<p>Des compétences couplées sont nécessaires ici : <b>Mathématique-statistique-informatique et biologie.</b></p> <p><b>Mathématiques-statistique-informatique et médecine.</b></p>

PRINCIPAUX DÉBOUCHÉS	Quelques exemples d'applications des mathématiques	Outils mathématiques requis	Disciplines et méthodes utilisées	Compétences fortes à maîtriser
<p>La Météorologie</p>	<p>La prévision météo reste un défi scientifique majeur. Elle repose sur un système très complexe qui intègre de nombreux phénomènes physiques et chimiques.</p> <p>Il faut, en partant d'un état initial, tenter de connaître l'état futur en s'appuyant sur les lois d'évolution de l'état de l'atmosphère (lois de la dynamique des fluides, de la thermique, ...).</p> <p><b>L'application nécessite de :</b> trouver les équations qui permettent de décrire l'évolution des conditions atmosphériques ; résoudre le système complexe d'équations.</p>	<p><b>EDP</b>, (les équations retenues traduisent des lois pertinentes dégagées).</p> <p><b>Analyse numérique</b>, pour fournir des solutions approchées au système d'équations complexes qui n'a pas de solution analytique.</p> <p><b>Modèles bayésiens en Statistique</b>.</p>	<p><b>Analyse et modélisation</b>, (mise en équation de phénomènes qui ont été répertoriés pour leur importance).</p> <p><b>Maîtrise des gros logiciels et de la modélisation numérique</b>.</p>	<p><b>Mathématiques</b>, (principalement EDP et analyse numérique) .</p> <p><b>Informatique</b>, (pour pratiquer sur ordinateur la modélisation numérique).</p>
<p>L'écologie</p>	<p>Comprendre l'influence du climat et de ses changements sur la croissance des forêts. Savoir ajuster en conséquence la gestion des forêts pour atténuer les effets négatifs des changements climatiques.</p> <p>Mettre en place de meilleurs plans de gestion forestière pour améliorer la qualité du bois ou exploiter les forêts de façon écologique.</p>	<p><b>EDP</b>, (pour définir dans un jeu d'équations à "x" variables une multitude de phénomènes physiques, chimiques ou biologiques qui évoluent dans l'espace et dans le temps).</p> <p><b>Analyse numérique</b>.</p>	<p><b>Modélisation</b>, ( modéliser les rouages de l'écosystème forestier en simulant son comportement avec le modèle conçu).</p> <p><b>Algorithmique</b>, (les "L.Systèmes" qui permettent de simuler les processus de croissance d'un arbre, par étapes successives, en fonction d'échelles de temps et d'espaces).</p> <p><b>Mathématiques et Informatique</b>, pour l'analyse numérique.</p>	<p><b>Mathématiques</b>, (principalement EDP et calcul numérique) appliquées à la problématique forestière.</p> <p><b>Informatique</b>, pour la simulation numérique.</p>

ENVIRONNEMENT

### III - DES DÉBOUCHÉS EXTRÊMEMENT VARIÉS

La variété des débouchés concerne les secteurs d'accueil et les types d'applications confiées à de jeunes mathématiciens.

#### 1 - LES SECTEURS D'ACCUEIL

Les jeunes issus de l'université ou des écoles d'ingénieurs sont recrutés essentiellement dans les secteurs suivants :

- les banques ;
- les assurances ;
- le secteur biomédical et médical (CHU, laboratoires pharmaceutiques) ;
- les organismes de recherche ;
- le secteur du conseil-ingénierie (SSII, instituts de sondage et de statistiques, sociétés de consulting) ;
- le secteur marketing des entreprises et des sociétés de service (grande distribution, par exemple) ;
- le secteur audiovisuel, pour les besoins en imagerie et traitement de l'image ;
- le secteur recherche et développement des grandes entreprises et organismes de recherche (aéronautique, aérospatiale, télécommunications, automobile, énergie) ;
- le secteur fabrication des grandes entreprises ;
- le secteur environnement (météorologie, écologie etc.) ;
- le secteur agroalimentaire ;
- le secteur des matériaux, de la chimie.

La variété des secteurs, dont la liste n'est pas exhaustive, prouve que les mathématiciens prennent place dans de nombreux métiers.

#### 2 - LES APPLICATIONS

De même, la grande variété des applications offertes dans chacun des secteurs renforce plus encore cette affirmation. Ces applications très diverses permettent aux jeunes mathématiciens de combiner de façon efficace les outils et méthodes mathématiques acquis durant leurs études, en vue de trouver des réponses pertinentes à des problèmes précis que leur posent d'autres sciences ou disciplines.

À titre d'exemples, ces applications relèvent de préoccupations aussi diverses que :

Concevoir des banques de données et les exploiter en vue de préparer des décisions de diverses natures. Presque tous les secteurs sont intéressés par ces problématiques, et notamment ceux dans lesquels il convient de traiter l'information en masse pour prendre de bonnes décisions. La prise de décision est, en effet, très souvent d'une importance stratégique et les outils mathématiques apportent parfois une aide précieuse : dans les entreprises au niveau commercial avec les enquêtes marketing, au niveau technique avec les tests de fiabilité sur les processus de production, dans le secteur médical et pharmaceutique pour mettre sur le marché de nouveaux médicaments, dans l'agro-industrie pour améliorer la qualité des aliments, dans les secteurs de la banque et de l'assurance pour adapter les produits-services en fonction des typologies de clientèle etc.

Fixer des prix "optimaux" pour les prestations de service en vue de maintenir un bon niveau de rentabilité globale dans des contextes de marché où les risques sont difficiles à maîtriser et où la part d'imprévu est forte (prix des options pour les banques, prix des contrats d'assurances pour les assureurs ou encore prix à pratiquer à la SNCF pour optimiser le remplissage des trains).

Traiter des images, transmettre de l'information et des messages à distance en recourant aux nouvelles technologies de la communication et de l'information (analyse de photos aériennes, transmission d'images et d'information par Internet, imagerie médicale, signal radio, téléphonie portable. etc.).



Réaliser des simulations, faire des essais virtuels qui sont plus rapides et nettement moins onéreux que l'expérience en vue d'améliorer la sécurité des usagers, la fiabilité des produits. Exemples de simulations : choc automobile ; parasitages électromagnétiques, comme par la foudre, affectant les avions ; explosion atomique ; comportements mécaniques : du pneu, des skis, des matériaux en général.

Optimiser la production et la logistique des entreprises industrielles commerciales et de service : il s'agit de contrôler les aléas dans les chaînes de fabrication pour minimiser les pannes et les rebuts, optimiser les ateliers et faire de la gestion des flux tendus dans les entreprises industrielles. Mettre en place les points de stockage et d'entrepôt à des endroits stratégiques sur un espace géographique défini pour maîtriser au mieux les délais et les coûts de stockage.

Étudier le comportement des consommateurs en vue d'en établir des typologies pour leur adapter les produits-services vendus (services marketing des grandes entreprises industrielles, commerciales et de service, instituts de sondage ou grande distribution).

Faire des recherches sur le génome pour comprendre les mécanismes de la vie, les maladies génétiques et leurs évolutions ou faire des recherches sur le cancer pour détecter les évolutions prévisibles.

## IV - LES CARACTÉRISTIQUES DU RECRUTEMENT DANS DIFFÉRENTS SECTEURS DE DÉBOUCHÉS

### 1 - LE SECTEUR DU CONSEIL, DE L'INGÉNIERIE

Ce secteur englobe les instituts de sondage, les sociétés de conseil, les SSII, les prestataires de service dans le domaine de l'imagerie, la transmission à distance de l'information.

Il offre de très grandes possibilités d'embauche aux mathématiciens. Les applications sont multiples, notamment au niveau de la conception de bases de données et de l'exploitation de ces bases ; la mobilité est très importante dans ces sociétés, les jeunes mathématiciens recrutés se faisant souvent "débaucher" par les gros clients de ces mêmes sociétés. Ce secteur a augmenté son nombre de salariés de 32% entre 1996 et 1998 et son CA de 30% sur la même période. Actuellement ce sont 1 212 157 salariés qui y travaillent en France <sup>1</sup>.

On trouve de nombreuses PME qui embauchent des jeunes possédant une solide culture mathématique allée à une bonne connaissance de l'informatique dans une logique de maîtrise du génie logiciel (sur ce secteur, la puissance de calcul informatique est sollicitée). Entre 1996 et 1998, le nombre d'entreprises existantes a augmenté de 20% <sup>2</sup>.

### 2 - LE SECTEUR DES BANQUES ET DES ASSURANCES

Il est aussi très porteur. Les banques recourent aux mathématiciens depuis une décennie environ, alors que cette tendance de recrutement est plus récente au niveau des assurances. Il y a donc un risque de tassement au niveau du secteur bancaire, mais le marché reste encore très porteur au niveau de l'assurance.

Le secteur tertiaire, dont font partie banques et assurances, fournit 65% des emplois en France. En 1999, les groupes bancaires accueillent 400 000 salariés en France mais, sur cette dernière décennie, on observe une baisse des effectifs de 3,7% <sup>2</sup>. Le secteur bancaire contribue à hauteur de 4% au PIB. L'assurance en France est au 4<sup>e</sup> rang mondial, avec un CA dépassant les 176 milliards d'euros. Elle accueille 146 000 personnes. Entre 1999 et 2000, son CA a progressé de 16,5% et est en continuelle croissance depuis 1996 <sup>3</sup>.

Les compétences exigées ici couvrent les mathématiques appliquées aux finances et à l'assurance (statistique-probabilités-actuariat) et l'informatique (maîtrise de logiciels de bases de données).

<sup>1</sup> Source : base de données ALISSE de l'INSEE.

<sup>2</sup> Source : site Internet du ministère des Affaires étrangères

<sup>3</sup> Source : Fédération française des sociétés d'assurances

### 3 - LE SECTEUR DE L'AUTOMOBILE, DU PNEUMATIQUE

Ils recrutent des jeunes issus de formations en mathématiques appliquées pour leurs services recherche-développement en produits et en procédés de fabrication. Les flux sont non négligeables et particulièrement importants du côté des procédés de fabrication afin de répondre à des problématiques comme la gestion des flux tendus, la maîtrise de la qualité, le contrôle des aléas des chaînes de fabrication. Les compétences exigées ici sont très pluridisciplinaires et nécessitent une "culture" probabilités-statistique et une "culture" EDP-calcul scientifique.

L'automobile connaît un grand dynamisme depuis plusieurs années. Ses effectifs salariés sont de 268 000. Depuis 1997, son CA augmente de 8% par an. Les constructeurs continuent de gagner des parts de marché et le secteur investit fortement à la fois en capital et en emplois qualifiés pour la recherche-développement <sup>1</sup>.

### 4 - LE SECTEUR DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

L'industrie française des télécommunications est très compétitive sur la scène internationale et gagne régulièrement des parts de marché.

Les entreprises de ce secteur investissent beaucoup en recherche-développement (jusqu'à 15% de leur CA). Elles recrutent des cadres très qualifiés, notamment dans le domaine des mathématiques car les progrès techniques entraînent un renouvellement rapide des produits.

En même temps, les attentes sont de plus en plus complexes de la part des utilisateurs, qui souhaitent des systèmes ouverts intégrant produits, logiciels et services. Ces systèmes font intervenir différents secteurs : télécommunications, informatique, composants électroniques. Les frontières entre ces secteurs s'estompent et les technologies numériques rendent possible ces synergies. Des mathématiciens sont recrutés pour mettre en œuvre ces technologies de pointe. Les cadres représentent 35% des effectifs du secteur contre 13% pour l'ensemble de l'industrie. Le secteur embauche, les effectifs ont augmenté de 6,2% par an depuis 1994 <sup>1</sup>.

### 5 - LES SECTEURS DE HAUTE TECHNOLOGIE

Les secteurs de haute technologie comme l'aéronautique, l'aérospatiale, offrent des flux de recrutement assez faibles car ils ne font qu'assurer le renouvellement de leurs spécialistes lors des départs à la retraite. En effet, depuis leur naissance, ces secteurs ont recours aux outils mathématiques et informatiques les plus avancés. Ils font appel à des spécialistes de haut niveau qui ont accumulé une très grande expérience dans leur métier. Il faut environ 6 ans pour être opératoire dans ces disciplines. Les personnels se renouvellent peu, donc le marché de l'emploi est relativement saturé. Un jeune ingénieur, recruté au CNES par exemple, y fera sans doute carrière, s'il donne satisfaction. Il sera recruté pour ses compétences mathématiques larges assorties de compétences en mécanique des fluides, en mécanique céleste, en traitement du signal, en génie logiciel. Ce secteur est en effet gros consommateur de calculs numériques lourds.

Dans ces secteurs, l'effectif salarié stagne ou a tendance à diminuer. Il a perdu 3,3% entre 1996 et 1999 tandis que le CA s'accroît de 34% sur la même période. L'effectif salarié était de 77 214 en 1999 <sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Ministère de l'Économie et des Finances : "Le 4 pages des statistiques industrielles"

<sup>2</sup> Statistiques de l'INSEE

## V - UN NOMBRE IMPORTANT DE DÉBOUCHÉS AUX FRONTIÈRES DE PLUSIEURS DISCIPLINES

### 1 - LA BIOLOGIE, LES STATISTIQUES ET L'INFORMATIQUE (SECTEUR MÉDICAL)

Ces disciplines sont souvent en synergie dans le médical et le bio-médical. Prenons deux exemples parmi d'autres :

Dans le cadre du développement d'un nouveau médicament, les laboratoires pharmaceutiques collaborent avec les médecins et bio-statisticiens pour les essais cliniques. L'autorisation d'introduction sur le marché du nouveau médicament n'est accordée qu'après examen et validation d'un dossier adressé par le laboratoire à l'Agence du médicament dépendant du ministère de la Santé. Ce dossier contient les résultats d'essais cliniques pratiqués sur des sujets sains. Les données recueillies (socio-démographiques, biologiques, cliniques) sont analysées et interprétées grâce aux compétences croisées des médecins, biologistes, statisticiens et informaticiens et viennent nourrir le dossier évoqué ci-dessus. Des équipes pluridisciplinaires sont donc constituées autour de cette problématique.

Pour comprendre certaines maladies génétiques, et pouvoir les traiter, on recourt aux techniques de séquençage du génome humain. En prenant appui sur la connaissance de l'ADN, la génétique est devenue moléculaire et une activité industrielle de grande ampleur s'est mise en marche pour repérer l'enchaînement des bases moléculaires. *"Une fois le génome séquencé, il faut comprendre la signification biologique des séquences obtenues, ce qui nécessite des méthodes informatiques, statistiques et algorithmiques adaptées"*<sup>1</sup>. Les méthodes algorithmiques<sup>2</sup>, notamment, permettent d'extraire les données pertinentes qui permettront de localiser les virus à l'origine de maladies. L'enjeu de ces recherches est donc de découvrir les causes de certaines maladies génétiques et de donner des pistes pour les traiter. Une collaboration étroite est pratiquée entre biologistes, informaticiens et mathématiciens.

**Conclusion.** Au croisement de ces disciplines, on constate que des équipes sont constituées et s'apportent des éclairages mutuels sur fond de compétences très complémentaires. Les bio-statisticiens sont très recherchés sur le marché du travail alors que les formations adaptées n'en produisent qu'un nombre très restreint actuellement.

### 2 - LES MATHÉMATIQUES, L'ACTUARIAT, L'ÉCONOMÉTRIE ET L'INFORMATIQUE (BANQUES ET ASSURANCES)

Ces disciplines se combinent dans les raisonnements appliqués aux finances et aux assurances. Ces outils sont indispensables pour fixer les prix de produits financiers et des primes de contrats d'assurance, compte tenu des nombreux risques ayant pour origine le marché ou le client. Ici la culture mathématique dominante est de type statistique, mathématiques financières. La compétence informatique correspond à la maîtrise de logiciels statistiques "lourds". D'une manière générale, ces métiers sont proposés à des personnes qui maîtrisent à la fois probabilités et statistique, finances et informatique.

Dans toutes les missions confiées par les secteurs banque-assurances, ces diverses compétences sont utilisées de façon combinée, avec un poids différent pour chacune en fonction de la mission confiée. Il y a souvent une compétence essentielle (ou statistique-probabilités, ou finances, ou informatique) qui se trouve mobilisée de façon dominante, tandis que les autres le sont de façon plus marginale, en fonction des missions.

**Conclusion.** On trouve, dans les formations existantes sur le marché, des personnes qui ont ces compétences croisées. Les ingénieurs formés en mathématiques financières et à l'actuariat<sup>3</sup> sont de très bon niveau en France. Par contre, lorsqu'il s'agit de coupler des compétences en économie (macro-économie et économie pure et politique) et en statistique, il faut le plus souvent créer des équipes mixtes de macro-économistes et de spécialistes d'analyse de données (issus de l'ENSAE par ex.), car il est très rare de trouver chez une même personne la maîtrise de ces deux cœurs de métiers.

<sup>1</sup> Source : *"Les mathématiques dans la vie quotidienne"*, publié par la Société mathématique européenne

<sup>2</sup> On se référera à la définition de l'algorithmique dans le lexique

<sup>3</sup> On se référera à la définition de l'actuariat dans le lexique

### 3 - PROBABILITÉS, STATISTIQUE ET INFORMATIQUE.

Elles sont utilisées ensemble dans de nombreuses applications où l'imprévu et le hasard dominant. Les probabilités sont très utiles dans les mécanismes décisionnels en univers incertain. Avec l'informatique, des simulations aléatoires peuvent être réalisées afin d'aider à la prise de décision dans de nombreux cas, comme l'évaluation des risques financiers (risques sur les marchés pour les banques), les mesures d'audience des médias par des instituts de sondage, les prévisions d'appel sur téléphone portable pour optimiser le déploiement du réseau, la recherche de la meilleure politique de prix à mettre en œuvre par les compagnies de chemin de fer pour assurer le remplissage des trains, le contrôle des aléas dans les chaînes de fabrication (en vue de minimiser les pannes et les défauts de qualité, les études de sûreté de fonctionnement.

**Conclusion.** Ces métiers sont confiés à des personnes ayant reçu des doubles formations en statistique-probabilités et informatique ou en mathématiques avec de solides acquis en modélisation, optimisation pour prévisions, aides à la décision. Ces compétences existent sur le marché de la formation. Ont été citées des écoles comme l'ENSAE, l'ISUP, l'École des mines de Nantes, mais aussi de nombreux DESS et DEA (ex. : DESS de statistique-sondage, de statistique-économétrie, de statistique appliquée au marketing, DEA de mathématiques appliquées).

Toutefois, les entreprises citées font remarquer qu'il y a peu d'endroits en France où est enseignée la statistique à haut niveau tournée vers les applications. On accuse un vrai retard dans cette thématique, à l'opposé de ce qui se passe en Amérique du Nord et dans d'autres pays européens.

### 4 - LA STATISTIQUE, L'INFORMATIQUE ET LA GESTION.

Les compétences combinées (techniques du marketing- analyse de données-maîtrise de logiciels ou de techniques d'exploitation de données comme le *data-mining*<sup>1</sup> sont utilisées notamment dans les services marketing des entreprises industrielles ou de service, des banques-assurances, etc. Elles permettent d'étudier le comportement des consommateurs en vue d'en établir des typologies pour leur adapter les produits-services vendus, et d'analyser des données multiples en provenance des marchés.

**Conclusion.** On trouve ces compétences sur le marché de la formation, notamment dans les DESS de statistique et tout particulièrement dans ceux appliquée à la gestion de l'entreprise, ou de statistique croisée avec de l'économétrie, ou dans des écoles comme l'ENSAI de Rennes. Mais, comme cela a déjà été dit, il y aurait encore beaucoup de possibilités à explorer par le système éducatif pour former davantage de jeunes aux statistiques appliquées.

### 5 - LA MÉCANIQUE, LES MATHÉMATIQUES ET L'INFORMATIQUE (RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT DES ENTREPRISES)

Ces disciplines sont sollicitées de manière complémentaire dans des applications concernant les secteurs recherche-développement des firmes. Souvent elles se combinent ainsi : mécanique des solides ou mécanique des fluides, voire mécanique céleste, et mathématiques ("culture" dominante EDP<sup>2</sup>, calcul scientifique et analyse numérique<sup>3</sup> et informatique (génie des logiciels utilisés pour leur puissance de calcul). Les applications dans ce domaine ont par exemple pour but de :

- prévoir la résistance des structures, des matériaux et leur déformation : par exemple, le pneumatique ou le ski en ayant recours à la modélisation mécanique ; les résultats des simulations permettent d'adapter les modes d'élaboration des produits mis sur le marché afin d'en augmenter la sûreté et la fiabilité de fonctionnement ;

<sup>1</sup> On se référera à la définition du *data-mining* dans le lexique

<sup>2</sup> On se référera à la définition des équations à dérivées partielles (EDP) dans le lexique

<sup>3</sup> On se référera à la définition de l'analyse numérique dans le lexique

- simuler des chocs d'accident et les dommages qui en découlent au plan corporel en recourant à une modélisation mathématique dans laquelle sont incorporées les lois physiques, mécaniques, biologiques et médicales ; ainsi des réponses peuvent être apportées dans la conception des véhicules pour améliorer la sécurité des automobilistes ;
- envoyer des sondes et satellites sur orbite au moindre coût avec la plus grande précision possible dans le secteur aérospatial : le CNES étudie, par exemple, la trajectoire optimale d'une sonde, le lancement et le maintien sur orbite d'un satellite par la théorie du contrôle optimal et la mécanique céleste, grands consommateurs de calculs numériques.

Ces trois exemples d'applications ne prétendent évidemment pas à l'exhaustivité.

**Conclusion.** Sur des applications de ce type sont recrutés des jeunes scientifiques ayant reçu une formation solide en mathématiques (reposant sur des outils empruntés à la "culture" mathématique EDP, analyse numérique, calcul scientifique), assortie d'une maîtrise du génie logiciel ainsi que d'une "culture" en mécanique.

Des formations aux confins de ces disciplines existent. (exemples : Sup Aéro cité par le CNES, ENSEEIHT de Toulouse, école des mines, école des ponts et chaussées ...).

## 6 - LA PHYSIQUE, LA CHIMIE, LES MATHÉMATIQUES ET L'INFORMATIQUE (RECHERCHE EN MILIEU INDUSTRIEL)

En milieu industriel, de nombreux physiciens et chimistes sont recrutés pour pratiquer la modélisation et la simulation afin de prévoir les comportements des procédés industriels, des produits et des matériaux. Ces comportements varient en fonction de paramètres multiples à circonscrire. La connaissance des lois physiques, thermiques, mécaniques, chimiques permet de recourir à la modélisation pour décrire sur ordinateur des phénomènes prévisibles découlant de contraintes imposées aux structures observées (procédés- produits - matériaux) ; l'ingénieur physicien ou chimiste recourt alors à l'outil mathématique des équations à dérivées partielles <sup>1</sup> pour modéliser une réalité très complexe, et aux méthodes d'analyse numérique <sup>1</sup> pour trouver des solutions approchées à ces systèmes d'équations complexes, comme "la méthode des éléments finis" <sup>1</sup>.

La modélisation et la simulation s'appliquent donc aux :

- procédés industriels afin de décrire le fonctionnement prévisionnel de ces procédés qui sera induit par la modification de paramètres sensibles ; prenons l'exemple d'usines immenses de fabrication de verre où sont installés des fours d'environ 200 m<sup>2</sup> qui fonctionnent à très haute température : le physicien va recourir à l'outil mathématique évoqué pour prévoir les divers scénari de fonctionnement de ces fours en fonction de changement de paramètres ;
- produits, pour décrire ce que seront les caractéristiques prévisionnelles du produit final fabriqué à partir d'une combinaison variable de composants ; prenons l'exemple du verre fabriqué à partir de 10 à 15 composants, qui peuvent être choisis à l'intérieur d'une large palette : il a des caractéristiques et qualités différentes en fonction de la nature de la combinaison choisie pour les composants ; la modélisation et simulation pourront s'appliquer aussi aux réactions prévisionnelles de pièces (constitutives d'un ensemble plus vaste, comme des pièces de moteur de voiture) soumises à des contraintes mécaniques, thermiques ; les outils mathématiques permettent ici de prévoir les niveaux de température atteints par ces pièces et d'envisager à quel moment, et de quelle manière, il faut intervenir pour les refroidir ;
- matériaux. Les méthodes mathématiques permettent, une fois les décompositions faites du matériau, atome par atome, par le chimiste, de procéder, par la modélisation, puis par la simulation, à des recombinaisons moléculaires infinies afin de construire par le calcul numérique des solutions en réponse à des propriétés idéales à trouver pour le matériau.

---

<sup>1</sup> On se référera à chacune de ces définitions dans le lexique

**Conclusion.** Sur des applications de ce type sont recrutés de jeunes ingénieurs, plutôt physiciens, chimistes (qui ont une bonne connaissance des matériaux), qui maîtrisent la "culture" mathématique EDP, les méthodes d'analyse numérique, le calcul scientifique. Le maître mot des problématiques ici évoquées est la complexité en milieu industriel. Les méthodes de modélisation-simulation sont systématiquement utilisées.

Il s'agit d'établir les lois physiques et chimiques auxquelles obéissent les procédés, les produits ou composants observés, lorsqu'ils sont soumis à des changements de paramètres, à des contraintes d'ordre physique au sens large (mécaniques, thermodynamiques etc.), puis d'appliquer des méthodes d'analyse numérique qui permettront d'accéder aux solutions approchées du système d'équations complexes.

## 7 - LES MATHÉMATIQUES ET L'INFORMATIQUE (SOCIÉTÉS DE SERVICE, CONSEIL)

Ces deux disciplines sont sollicitées en même temps dans les sociétés de service (SSII consulting-instituts de sondage) et dans les sociétés dont le métier est de transmettre de l'information à distance.

Les sociétés de service créent des bases de données et les rendent opératoires pour la prise de décision, soit pour leur propre compte (ex. : institut de sondage), soit pour le compte de leurs clients (SSII). Leurs interventions les amènent à mobiliser des outils statistiques et probabilistes ainsi que des outils informatiques (gros logiciels) afin de recourir à des méthodes d'aide à la décision.

Les sociétés qui transmettent de l'information (voire qui créent des supports pour la transmettre) doivent s'assurer de la fiabilité des messages ou images transmis (téléphonie portable, photos satellitaires, imagerie médicale) et de la sauvegarde de leur caractère confidentiel (paiement électronique par Internet, carte bleue, carte à puce).

Toutes utilisent des mathématiques (en puisant dans des outils assez larges tels que techniques d'analyse mathématiques discrètes calcul formel, théorie des nombres, algèbre appliquée mais aussi théories des probabilités) ainsi que l'informatique pour coder (transmission, compression d'images), tester des algorithmes<sup>1</sup> (afin de se prémunir contre "les piratages informatiques"), faire de l'analyse numérique<sup>1</sup>.

**Conclusion.** Ces métiers aux frontières des mathématiques et de l'informatique sont confiés à des scientifiques ayant une double "culture" mathématique (couvrant une large palette d'outils maîtrisés) et informatique (maîtrise du génie logiciel ou maîtrise de gros logiciels). On trouve de nombreuses formations de ce type sur le marché de la formation.

# VI - UNE TRÈS PUISSANTE EXPANSION DE LA STATISTIQUE ET DE L'INFORMATIQUE

## 1 - LA STATISTIQUE

On la trouve dans un nombre important d'applications.

Les statisticiens sont les interlocuteurs privilégiés de nombreux décideurs aux problématiques très diverses, en liaison avec les différents métiers qu'ils exercent. Leur travail de compilation et de conversion de l'information collectée en information pertinente pour la prise de décision est utile en amont de décisions bio-médicales (ex. : faut-il, après avoir analysé les résultats d'essais cliniques, mettre ou non un médicament testé sur le marché ?), de décisions financières (faut-il intervenir sur le marché des actions, des obligations pour un opérateur sur les marchés financiers ?), de décisions marketing (comment adapter la politique de produits services en fonction des segments de clientèle repérés ?) et de décisions techniques (comment améliorer les processus de fabrication après avoir repéré les aléas sur les chaînes de fabrication ?) On peut constater que la panoplie des applications est large et que cette branche des mathématiques appliquées est particulièrement sollicitée.

**Conclusion.** On relève un point de vue convergent chez les interlocuteurs interrogés : les filières de formation ne mettent pas à disposition du marché du travail les compétences recherchées dans ces domaines, tant au niveau quantitatif (on manque de statisticiens) qu'au niveau qualitatif (on manque de statisticiens bien formés aux applications).

<sup>1</sup> On se référera aux définitions correspondantes dans le lexique

## 2 - L'INFORMATIQUE

Elle est présente dans la presque totalité des applications :

Cette discipline est sollicitée en liaison avec la statistique, c'est-à-dire dans des domaines multiples et variés (la maîtrise de gros logiciels est requise ici ainsi que celle de nouvelles techniques pour créer des architectures de données pertinentes préparant la décision, par exemple le "*data-mining*").

L'informatique est sollicitée également en liaison avec d'autres disciplines mathématiques, comme l'algorithmique, l'analyse numérique. Nous prendrons ici deux exemples :

- la transmission sécurisée de l'information qui recourt aux théories du codage, à la cryptographie <sup>1</sup>, aux algorithmes <sup>1</sup> correspondants ; ici on a besoin des compétences spécialisées du mathématicien-informaticien (sociétés de service – imagerie – transmission de l'information, de l'image etc.) ;
- le calcul numérique <sup>1</sup> qui permet la résolution (approchée) d'un système d'équations aux dérivées partielles <sup>1</sup> bâti sur fond de modélisation mathématique complexe pour reproduire le mieux possible la réalité (ex : modèle de prévision météorologique, envoi d'engins spatiaux sur orbites, simulation de chocs d'accident dans l'automobile, etc.) ; pour cela la puissance de l'ordinateur est utilisée afin de réaliser des calculs numériques volumineux qui permettront "d'atteindre des résultats représentant une bonne approximation des vraies solutions" <sup>2</sup>.

**Conclusion.** Les compétences exigées pour un mathématicien appliqué combinent le plus souvent les mathématiques et l'informatique. Les doubles formations qui allient mathématiques ou statistique à l'informatique sont très porteuses en termes de débouchés. Il y a des cœurs de métiers respectivement en mathématiques et en informatique qui se combinent très bien :

- exemple 1 : statistique et maîtrise de gros logiciels ;
- exemple 2 : mathématiques (large palette d'outils dont EDP et calcul scientifique) et maîtrise du génie logiciel, des codes industriels ;
- exemple 3 : mathématiques pures (théorie des nombres premiers, calcul formel) et techniques informatiques comme la cryptographie, la compression d'image, le traitement du signal.

## VII - CHAQUE APPLICATION DES MATHÉMATIQUES FAIT APPEL À UNE CULTURE DOMINANTE

On observe en réalité trois "cultures" dominantes :

### 1 - LA "CULTURE" STATISTIQUE ET PROBABILITÉS

Les outils statistiques sont très sollicités pour la construction de bases de données et l'exploitation pertinente de ces bases en vue de créer de l'information décisionnelle (le tableau de synthèse donne des exemples dans la banque, l'assurance, les instituts de sondage, les SSII, les services marketing des grandes entreprises, les laboratoires pharmaceutiques).

Les outils probabilistes sont utilisés pour la prise de décision dans les contextes où l'incertain et le hasard prévalent. Ainsi, on les retrouve dans les procédures de fixation des prix de produits-services dans les banques et les assurances, de mesure d'audience sur les principaux médias, de contrôle d'aléas dans les chaînes de fabrication, de transmission d'information à distance, de recherche sur les évolutions prévisibles de cancers.

<sup>1</sup> On se référera aux définitions correspondantes dans le lexique

<sup>2</sup> Source : "*Les mathématiques dans la vie quotidienne*", publié par la Société mathématique européenne



## 2 - LA "CULTURE" EDP, CALCUL SCIENTIFIQUE ET ANALYSE NUMÉRIQUE

Elle domine dans trois types d'applications essentiellement :

- la création de logiciels (activité des SSII) ;
- la transmission de l'image (secteur de l'imagerie numérique : par exemple, restauration d'une image améliorée à partir d'une image floue grâce à la détermination des informations redondantes) ;
- les secteurs industriels. Ces secteurs consomment, en effet, des calculs "lourds" sur ordinateur pour simuler des phénomènes complexes qui ont été modélisés à partir de lois physiques. Parmi ceux-ci, on citera l'aéronautique (prévoir les conséquences de la foudre sur un avion), l'aérospatiale (calculer la trajectoire optimale d'une sonde), l'automobile (simuler des chocs d'accident et leurs conséquences en termes de dommages corporels, ainsi que des réactions de pièces et d'organes de moteur à des chocs thermiques), l'énergie (simulation d'une explosion atomique), la fabrication du verre (prévisions de la teneur du verre en fonction des combinaisons infinies des composants choisis) etc.

En conséquence, on remarque que les secteurs qui vendent de la prestation de service sophistiquée (logiciels, traitement d'image) ainsi que les secteurs industriels lourds (aéronautique, automobile, pneumatique, industrie du verre etc.) font appel de façon dominante à la "culture EDP et analyse numérique" lorsqu'ils utilisent les outils mathématiques, pour apporter des réponses à leurs problématiques.

Dans cette "culture", le mathématicien travaille en deux temps. Tout d'abord, il établit, dans une phase de modélisation, les lois physiques auxquelles obéissent les structures en jeu, en fonction des contraintes (mécaniques, thermiques, thermodynamiques etc) auxquelles, elles sont soumises et qu'il a identifiées. Il aboutit dans cette phase, à un ensemble d'équations (équations à dérivées partielles) qui décrivent approximativement le comportement du système étudié en fonction des paramètres programmés. La résolution de ce système d'équations complexes par des méthodes analytiques n'est pas possible. Aussi, dans une 2<sup>e</sup> phase, le mathématicien fait appel à une solution approchée en recourant à une méthode d'analyse numérique au moyen de l'ordinateur. Une des méthodes les plus puissantes pour cette résolution s'appelle "la méthode des éléments finis"<sup>1</sup>.

## 3 - LA "CULTURE" MATHÉMATIQUES DISCRÈTES, FACTORISATION DES GRANDS NOMBRES, THÉORIE DES CODES CORRECTEURS D'ERREURS

Cette "culture" domine dans le secteur des nouvelles technologies de l'information et de la communication pour la communication de messages à distance en bonne sécurité et à niveau de bruit minimal, pour la transmission d'images sur réseaux informatiques, la transmission des signaux radio, la fabrication des cartes à puce. Cette culture est très porteuse et fait appel à de nombreux outils utilisés en mathématiques pures traditionnelles.

**Conclusion.** En fonction du type de "culture" dominante maîtrisée, le jeune scientifique sera plutôt orienté vers tel ou tel type d'application dans les secteurs industriels ou de service.

---

<sup>1</sup> On se référera à la définition de la méthode des éléments finis dans le lexique.



## VIII - MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET SIMULATION NUMÉRIQUE : UN CHAMP D'APPLICATION UNIVERSEL

### 1 - DE NOMBREUSES APPLICATIONS RECOURENT À LA MODÉLISATION

- Soit en prenant appui sur des bases de données existantes pour présenter l'information sous forme d'un modèle apte à préparer les décisions de type stratégique (modélisation dans les secteurs bancaires, assurances, dans les services marketing des entreprises ; recours aux outils d'analyse des données, par exemple) ; la "culture" dominante relève des statistiques et probabilités, appliquées le plus souvent à l'économie, la gestion et la finance ; la maîtrise de gros logiciels existants sur le marché est requise ;
- Soit en prenant appui sur des modèles mathématiques ambitionnant de traduire par des jeux d'équations à plusieurs variables des réalités elles-mêmes très complexes. (cf. les exemples pris dans l'automobile, la météorologie, l'écologie) ; la "culture" dominante est ici celle des EDP et du calcul scientifique (analyse numérique) dans la résolution des équations ; la maîtrise du génie logiciel est ici importante.

### 2 - LA SIMULATION COMPLÈTE GÉNÉRALEMENT LA MODÉLISATION

Elle offre un gain de temps et une maîtrise des coûts importants par rapport à l'expérience. Elle permet de résoudre, par des procédés numériques élaborés, des jeux complexes d'équations (les EDP), qui ne peuvent trouver de solution par la voie analytique. En discrétisant les équations, ces procédés peuvent fournir une bonne approximation des solutions.

**Conclusion.** Les formations qui transfèrent des compétences fortes au niveau des méthodes de modélisation, d'optimisation, de simulation ont des débouchés assurés sur le marché du travail.

## IX - EN CONCLUSION DES COMMENTAIRES DU TABLEAU <sup>1</sup>

### 1 - LES MATHÉMATIQUES SONT TRÈS PRÉSENTES DANS LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES, COMMERCIALES, DE SERVICE

Les outils et méthodes mathématiques sont de plus en plus sollicités dans de multiples secteurs de l'économie

Bien que cela ne soit pas réellement visible, l'apport de cette utilisation a de fortes retombées sur notre vie quotidienne : amélioration de la sécurité des produits mis sur le marché, progression dans le traitement des maladies, accès à des images et messages de qualité transmis à distance. La liste n'est pas exhaustive.

### 2 - LA PLUPART DES BESOINS DES ENTREPRISES SE TROUVENT AUX FRONTIÈRES DE PLUSIEURS DISCIPLINES

Pour répondre à ces besoins, les entreprises ont des stratégies différentes en matière de recrutement, selon les disciplines ou cœurs de métiers à croiser :

- lorsque les disciplines à croiser sont éloignées entre elles et qu'on ne peut trouver en une seule personne toutes les compétences requises réunies, on constitue des équipes mixtes, pluridisciplinaires à l'intérieur desquelles s'opèrent des transferts de compétences et se met en place la formation mutuelle (exemple 1 : des biologistes et des médecins avec des statisticiens et informaticiens dans des laboratoires pharmaceutiques ; exemple 2 : des économistes purs et des statisticiens spécialisés en analyse de données dans le secteur bancaire) ;

<sup>1</sup> Commentaires des paragraphes III à VIII

- lorsque les disciplines à croiser sont plus proches (exemple : mathématiques au sens large et informatique), on recrute de jeunes mathématiciens ayant une solide formation aux confins de cette double culture scientifique, car ce type de formations existe, qui associent des cœurs de métiers avec des disciplines mathématiques et informatiques complémentaires ;
- lorsque les disciplines à croiser exigent la maîtrise d'outils mathématiques tournés vers une discipline particulière (ex. : mathématiques statistiques appliquées aux finances, statistiques appliquées à la biologie, statistiques et probabilités appliquées à l'informatique), on recrute des jeunes ayant suivi une double formation ou ayant fait une année de spécialisation qui leur permet d'adapter leur culture mathématique à une discipline porteuse sur le marché du travail (exemples : formations d'actuaire, formations aux mathématiques financières, formations aux bio-statistiques etc.) ; des formations de type DEA et DESS de cette nature existent.

Il est à noter que, si l'on trouve facilement des compétences en mathématiques financières et en actuariat<sup>1</sup> sur le marché de la formation, on en trouve beaucoup plus difficilement en bio-statistiques ou bio-mathématiques, voire en statistique tournée vers des applications complexes (dont la maîtrise de gros logiciels).

### **3 - DANS LA PLUPART DES APPLICATIONS INDUSTRIELLES, STATISTIQUE ET INFORMATIQUE SONT FORTEMENT SOLLICITÉES**

Cette tendance lourde qui s'exprime sur le marché du travail milite en faveur :

- du développement des formations à la statistique en France, le marché actuel de la formation ne mettant pas suffisamment de compétences de ce type à disposition des employeurs, à la fois en termes de flux de personnes formées et en termes de niveau de maîtrise des applications statistiques ;
- de la nécessité d'introduire, dans toutes les formations aux mathématiques appliquées, des modules significatifs d'informatique ; néanmoins, comme nous l'avons évoqué, il y a des cœurs de métiers qui correspondent à une combinaison judicieuse de disciplines et outils en mathématiques avec des disciplines et outils en informatique, pour donner aux jeunes diplômés des compétences couplées dont le marché du travail a grand besoin.

## **X - LA COMPLÉMENTARITÉ DES MÉTIERS DU MATHÉMATICIEN**

### **1 - LES MATHÉMATIQUES ET LES AUTRES HORIZONS DISCIPLINAIRES**

Faire des mathématiques appliquées revient à utiliser les mathématiques en les tournant vers d'autres disciplines comme la physique, la biologie, la chimie, la mécanique, la gestion, l'économie, etc. Le mathématicien appliqué travaille sur des problèmes souvent issus d'autres horizons que ceux des mathématiques, et y introduit ses outils et méthodes mathématiques. On peut donc dire que les mathématiques appliquées se sont développées sous l'impulsion de, et en association avec, d'autres disciplines.

### **2 - LA RECHERCHE EN MATHÉMATIQUES ET LES APPLICATIONS DANS LE MILIEU SOCIO-ÉCONOMIQUE**

Les inventeurs d'applications remontent le plus souvent à la théorie : de nombreux employeurs expliquent que, face à un problème rencontré, il est demandé au mathématicien appliqué de puiser dans l'ensemble de ses connaissances, dans la "boîte à outils" qu'il maîtrise, pour apporter une solution. S'il ne parvient pas à mobiliser une méthode ou un outil existant pour apporter une réponse pertinente à la problématique qui lui est confiée, alors il devra en inventer d'autres, "créer un petit morceau de théorie" qui viendra s'ajouter à la boîte à outils existante et l'enrichir, ce qui correspond à la démarche du chercheur dans son laboratoire.

Les recruteurs de jeunes mathématiciens appliqués sur le marché du travail sont très demandeurs de collaborations avec le milieu de la recherche en mathématiques. En effet, certaines entreprises passent des contrats avec des laboratoires de recherche universitaires ou des organismes de recherche pour développer "le morceau de théorie" qui leur manque pour résoudre un problème souvent très spécialisé ou non classique.

<sup>1</sup> On se référera à la définition de l'actuariat dans le lexique

De nombreuses entreprises cherchent à recruter (parfois sans les trouver) des doctorants ou des docteurs pour leur capacité potentielle à développer un nouvel outil ou une nouvelle méthode face à un problème industriel qui ne peut être résolu en l'état actuel des outils existants.

Les mathématiciens ont inventé de nombreux outils mathématiques qui ont eu une utilité extrêmement forte dans les applications. On peut évoquer tous les outils créés pour les banques et les assurances (outils de mathématiques financières, théorie des probabilités et actuariat). Le secteur bancaire fait le constat qu'un certain nombre de formations en France ont une excellente capacité d'anticipation, car des techniques et outils novateurs, qui seront opératoires dans quelques années seulement, y sont déjà enseignés. C'est grâce aux recherches en mathématiques que les banques ont pu recruter depuis une dizaine d'années des ingénieurs qui leur ont permis de minimiser les risques de diverses natures (risques de baisse brutale des cours de bourse, risque de détérioration financière brutale de certains gros clients, etc.) et d'accroître la rentabilité des sociétés. De la même façon, les mathématiciens ont fourni de nombreux outils dans les secteurs de transmission de l'information, transmission d'images et de messages à distance. Les nouvelles technologies d'information et de communication mobilisent des outils et méthodes mathématiques purs tels que les techniques d'analyse, les théories complexes de probabilités, la cryptographie, la théorie de la logique mathématique pure au service de l'informatique.

### **3 - LES TROIS SOCIÉTÉS SAVANTES (SMAI, SMF ET SFdS) MANIFESTENT UNE VOLONTÉ DE RAPPROCHEMENT**

Il existe trois sociétés savantes françaises auxquelles adhèrent les mathématiciens : la Société mathématique de France (SMF), la société de mathématiques appliquées et industrielles (SMAI) et la Société française de statistique (SFdS). Les mathématiciens appliqués adhèrent souvent à plusieurs d'entre elles.

La SMF et la SMAI sont chacune convaincues du caractère bien flou de ladite frontière entre les deux "cultures" mathématiques et de l'intérêt croissant qu'il peut y avoir, pour les mathématiques en général, de favoriser le rapprochement et les synergies. Il faut rappeler que la SMAI s'est constituée à partir de la SMF en nouvelle société savante, dans le but de mieux promouvoir et diffuser la "culture" mathématiques appliquées.

En parallèle, la Société française de statistique (SFdS) regroupe la plupart des statisticiens.

Les présidents de chacune de ces sociétés, rencontrés lors de cette enquête, pensent qu'il n'y a aucun intérêt à cultiver les frontières pour toutes les raisons ci-dessus évoquées. Il y a continuité entre les mathématiques pures et appliquées et grand bénéfice à attendre d'interactions renforcées entre les mathématiques dites appliquées et celles dites pures. Les mathématiques appliquées jouissent clairement d'une reconnaissance croissante dans de nombreux milieux (économique, social, médical, environnement etc.).

### **4 - DES DIFFICULTÉS SUBSISTENT CEPENDANT DANS LE SYSTÈME UNIVERSITAIRE**

Deux exemples peuvent être cités :

- les recherches appliquées menées en statistique sont souvent peu valorisées, faute d'être perçues comme académiques. Sans doute est-ce une des raisons non négligeables du déficit d'enseignement de la statistique dans l'enseignement supérieur français, dont se plaignent tous les employeurs ; il serait souhaitable que les statisticiens s'intéressent à cette question et formulent des propositions constructives pour donner de l'ampleur à leur discipline ;
- la cryptographie, qui est à l'interface des trois sections 25, 26 et 27 du CNU, peine à trouver sa place dans l'une ou l'autre de celles-ci.

D'une manière générale, il faut encourager une évolution des mentalités dans le système universitaire, de telle sorte que les recherches appliquées trouvent mieux leur place dans le dispositif d'évaluation de la recherche et que les enseignants de mathématiques véhiculent une image plus positive des mathématiques appliquées auprès de leurs étudiants.

## XI - LES QUALITÉS ATTENDUES D'UN CADRE RECRUTÉ DANS LE DOMAINE DES APPLICATIONS MATHÉMATIQUES

### 1 - QUALITÉS INTELLECTUELLES ET PROFESSIONNELLES

Comme dans de nombreux domaines où les emplois sont très qualifiés, les employeurs qui recrutent des cadres dans le domaine des mathématiques attendent de ceux-ci :

**Une capacité au raisonnement, à l'abstraction, à la conceptualisation et à la rigueur.** Il s'agit de savoir situer le problème posé dans un champ donné et de mobiliser toutes ses connaissances pour extraire le ou les bons outils, voire pour en inventer d'autres si la "boîte à outils" disponible ne permet pas d'accéder à la solution.

En fait, le mathématicien appliqué fait tout autre chose que mettre en oeuvre "des recettes". Exemple : lorsqu'il recourt aux outils informatiques, il utilise de gros logiciels mais doit pouvoir modifier des paramètres, les faire évoluer, car il maîtrise la mécanique intellectuelle qui sous-tend le fonctionnement du logiciel.

**De la créativité au niveau intellectuel.** Il s'agit d'être capable dans certaines situations "d'ajouter des morceaux de théorie à ce qui existe déjà pour enrichir sa boîte à outils" (ceci est vrai notamment dans les industries de haute technologie au niveau de la recherche du développement : dans l'aéronautique, l'aérospatiale, dans des organismes de recherche où il faut souvent inventer de nouveaux outils qui enrichissent la théorie). Un mathématicien appliqué est confronté à une multitude de problèmes, venant d'autres sciences, qui ne sont pas résolus. Il doit donc être capable de construire de nouveaux outils théoriques lorsqu'il n'a pas trouvé satisfaction dans des modèles existants.

**Une connaissance des organisations au sens large, une culture d'entreprise.** Le mathématicien appliqué doit être capable de s'adapter vite à une culture qu'il connaît mal et qui a ses propres codes. Il doit être en mesure d'évaluer les conséquences socio-politiques, sur l'organisation, de l'introduction du nouvel outil qu'il développe et de mettre en place une stratégie de communication autour de son projet en direction des décideurs et utilisateurs.

Les qualités attendues plus spécifiques à la discipline mathématique sont les suivantes :

**Une maîtrise de l'incertain et de la complexité.** Beaucoup d'applications mathématiques se font dans des domaines où l'imprévu et l'aléatoire dominent, où le champ des contraintes et des phénomènes interactifs à prendre en considération est élevé. Il s'agit donc d'être familier avec un certain nombre d'outils (probabilistes notamment, de méthodes comme l'optimisation, l'aide à la décision). *"Il faut notamment savoir travailler sur de la modélisation couplée, appréhender les choses en suivant une logique de strates, c'est-à-dire en s'intéressant dans un premier temps à une vision assez globale, synthétique, du problème, puis, dans un deuxième temps, en examinant avec une loupe un point particulier, puis un autre, etc... Le mathématicien appliqué doit maîtriser et comprendre des échelles multiples ; il ne peut pas se concentrer sur un point de vue unique"*<sup>1</sup>.

**Une approche multidisciplinaire.** La plupart des applications innovantes sont aux frontières de plusieurs disciplines ou métiers, comme nous l'avons vu précédemment. Il faut donc avoir une capacité à s'insérer dans d'autres cultures proches ou plus éloignées de la sienne.

### 2 - QUALITÉS PERSONNELLES ET COMPORTEMENTALES

Les employeurs attendent d'un bon professionnel des applications mathématiques les qualités usuelles d'un bon responsable en recherche-développement :

**Une aptitude à l'écoute.** Le mathématicien doit avant tout bien comprendre le besoin de son client, la problématique dans laquelle il se situe, afin de lui proposer une solution adaptée.

---

<sup>1</sup> Citation de la SMAI.

**Une attitude ouverte.** En effet, les outils et les méthodes se renouvellent beaucoup dans ce métier ; il faut s'efforcer de ne jamais être prisonnier de la routine, du quotidien, afin de suivre les évolutions. Il faut être curieux, aller chercher l'information là où elle se trouve.

**Une capacité à communiquer, à convaincre.** Le mathématicien est amené à communiquer avec celui qui a exprimé le besoin. Par exemple, pour le séquençage du génome, le biologiste va interroger le statisticien. Dans cet exemple, le statisticien met en œuvre des outils pour analyser ce qui lui est demandé. Il va soulever des problèmes et les soumettre au biologiste. Il doit faire l'effort de communiquer, avec des mots simples et compréhensibles pour le biologiste, le sens profond des formules ou des morceaux de modèle mathématique utilisés.

Il est aussi amené à convaincre la direction générale de son entreprise de la pertinence de l'outil ou du modèle qu'il vient de développer. Le mathématicien doit donc être capable de le présenter de façon convaincante en s'appuyant sur des synthèses pertinentes qui expliquent notamment les enjeux de son modèle pour la société.

Le mathématicien doit savoir rendre ses travaux accessibles et compréhensibles à des partenaires dont la culture dominante est différente de la sienne.

**Des compétences relationnelles.** Tous les employeurs s'accordent à dire qu'il y a un socle minimal de qualités relationnelles en dessous duquel ils ne descendront pas pour recruter, car au bout de quelques années d'implication dans une équipe de maths appliquées, le jeune recruté évolue quasiment toujours vers de l'encadrement d'équipes. Très peu de personnes restent au stade d'expert dans leur domaine au-delà de quatre ou cinq ans d'expérience cumulée sur les mêmes fonctions. Elles peuvent le rester lorsqu'elles manquent de charisme ou lorsqu'elles ont cultivé de l'excellence sur un domaine très spécialisé. La majorité des employeurs rencontrés insiste sur ces éléments de profil personnel.

**Une capacité à travailler en équipe sur des projets.** Les problématiques confiées sont souvent si complexes et porteuses d'enjeux (beaucoup de décisions à prendre en avenir incertain, dans des contextes de contraintes importantes) qu'il apparaît déterminant à l'entreprise de recueillir des avis différents, de confronter des points de vue divergents en constituant des équipes pluridisciplinaires ou d'horizons différents (en termes de cursus de formation) autour d'un projet.

**Une capacité à "parler le langage de tous les savoirs".** Se faire comprendre peu demander temps et patience. Le mathématicien appliqué est souvent confronté à un milieu qu'il ne connaît pas bien, dans lequel il faut faire un effort d'acculturation en posant les bonnes questions (sans lasser l'interlocuteur) et en écoutant surtout les messages qu'on veut lui transmettre et qui sont parfois livrés dans un "jargon d'initiés" réducteur et obscur pour le non spécialiste.

## XII - LES MODES DE RECRUTEMENT DES INDUSTRIELS CONSULTÉS

Les considérations exposées ci-après ne prétendent pas concerner au même degré tous les secteurs économiques employeurs de jeunes mathématiciens. Les interlocuteurs dont les observations sont synthétisées ici se caractérisent par leur appartenance à des réseaux d'entreprises entretenant des relations suivies avec des formations universitaires en mathématiques appliquées ; ils représentent aujourd'hui la majorité des employeurs de mathématiciens appliqués.

### 1 - LES RECRUTEMENTS SE FONT AU MINIMUM À BAC+5 ET JUSQU'À BAC+8

Toutes les entreprises considèrent que la cinquième année après le baccalauréat est très formatrice et donc n'embauchent quasiment pas au niveau bac+4. Ce constat est conforme à celui fait au niveau de l'évaluation des filières universitaires. En effet, on a pu montrer que les étudiants des filières professionnalisantes de l'université qui sont censés avoir un débouché au niveau bac+4 (étudiants de MIM MASS et IUP, par exemple) poursuivent majoritairement leurs études dans un DESS.

Une part non négligeable des entreprises interrogées recrute des doctorants ou des docteurs ou cherche à recruter, afin de leur confier le développement et la mise au point d'outils mathématiques nouveaux apportant une solution efficace à une problématique posée par l'entreprise.

## 2 - LES ENTREPRISES RECRUTENT EN PROVENANCE DE DIVERS HORIZONS

Toutes les entreprises interrogées insistent sur l'intérêt qu'elles trouvent dans la diversité des parcours de formation de leurs personnels. Elles recrutent indifféremment en provenance des grandes écoles et des universités (DESS-DEA-doctorants) et font le constat que la mixité des profils leur est très bénéfique.

Seuls, les secteurs industriels semblent encore privilégier le recrutement d'ingénieurs en provenance des grandes écoles plutôt qu'en provenance des universités ; toutefois, ces secteurs attachent aussi de l'importance à la diversité du recrutement en faisant appel à des ingénieurs d'écoles différentes. Ils recrutent à l'université au niveau doctorat essentiellement.

Les problèmes mathématiques posés sont souvent délicats et trouvent des solutions sur fond de confrontations de cultures différentes, de démarches intellectuelles et modes de pensée différents pour l'ensemble des entreprises interrogées.

## 3 - LES ENTREPRISES REGRETTENT LE MANQUE DE LISIBILITÉ DES FORMATIONS UNIVERSITAIRES À BAC+5

La qualité de la formation dispensée en DESS et dans un certain nombre de DEA jouant partiellement le rôle de DESS est reconnue unanimement par les entreprises. Mais toutes regrettent l'atomisation des formations universitaires à bac+5, leur affichage insuffisant, le déficit de communication. Très souvent, les entreprises s'alimentent à partir de deux ou trois DESS qu'elles ont connus fortuitement (souvent par l'intermédiaire d'un ancien étudiant qui a donné satisfaction) sans chercher à étendre leurs relations à d'autres DESS. Il faut mettre en perspective les effectifs respectifs des promotions : 15 à 25 étudiants pour un 3<sup>e</sup> cycle universitaire, une centaine d'étudiants pour une promotion de grande école. Un effet de masse joue donc en faveur des grandes écoles au détriment des universités ; de surcroît, les associations d'anciens sont structurées dans les écoles, alors qu'elles ne le sont guère au niveau des DESS. Les entreprises gagnent donc généralement du temps à s'adresser à une école plutôt qu'à un 3<sup>e</sup> cycle universitaire pour cette raison.

## 4 - EN CONCLUSION

Les universités doivent donc relever le défi de la lisibilité de leurs formations car elles ont un véritable savoir-faire reconnu sur les 3<sup>e</sup> cycles de mathématiques appliquées et doivent apprendre à les promouvoir par des efforts de communication appropriés.

# XIII - QUELQUES TRAIT SAILLANTS DE LA PERCEPTION DES FORMATIONS AUX MATHÉMATIQUES EN FRANCE

## 1 - UNE TRÈS BONNE IMAGE AUPRÈS DES ENTREPRISES

Toutes les entreprises interrogées, quel que soit leur secteur d'appartenance, s'accordent à dire que les jeunes diplômés de mathématiques, qu'ils viennent d'une filière universitaire ou d'une école d'ingénieurs, sont très bien formés et vite opérationnels lorsqu'ils occupent un premier emploi. La qualité des formations de mathématiques en France est unanimement reconnue ; elle se serait améliorée de façon significative depuis une décennie. L'adaptation des jeunes diplômés à leur premier emploi étant rapide, les entreprises font très peu appel à des actions de formation continue. Lorsque ces actions sont mises en place, c'est essentiellement dans le but d'adapter la culture scientifique du jeune diplômé, jugée solide, à des domaines spécialisés.

Un point fort, particulièrement reconnu notamment en Ile-de-France, concerne le caractère très -professionnalisant et novateur des formations spécialisées en actuariat et mathématiques financières. Dans le secteur des banques et des assurances, les responsables des relations humaines font tous le même constat : il existe un réel savoir-faire en France pour la formation des jeunes diplômés aux mathématiques financières et à l'actuariat, qu'ils sortent d'une école d'ingénieurs ou d'une filière universitaire à bac +5. Les professionnels de ce secteur apprécient que la plupart des écoles aient intégré dans leur cursus de formation des mathématiques financières. Ces formations, dont le contenu pédagogique est articulé sur les nouvelles recherches en mathématiques, attirent les jeunes diplômés en mathématiques financières et actuariat au-delà des frontières, puisque beaucoup d'entre eux trouvent des débouchés sur les places financières de Londres et de New-York.

De la même façon, ils font remarquer que les universités ont mis en place des filières très attractives pour les employeurs, comme, par exemple, la filière MASS (option économétrie) ou MIM (avec un enseignement important de statistique) qui peut être complétée par un troisième cycle en mathématiques financières (ont été cités, par exemple, le DEA de Paris VI qui est une référence en Ile-de-France, en France, mais aussi en Europe - le DEA de finances de Dauphine ; le DESS de Toulouse I et III en statistiques et économétrie ; le DESS d'économétrie d'Aix-en-Provence).

Les responsables du recrutement dans ces secteurs font aussi le constat que de nombreux outils et méthodes novateurs (fruits d'une activité de recherche intense) sont enseignés dans plusieurs formations en France avec un temps d'avance sur leur utilisation dans des applications concrètes sur le marché du travail.

## **2 - UN ENSEIGNEMENT DE LA STATISTIQUE INSUFFISAMMENT TOURNÉ VERS LES APPLICATIONS**

L'enseignement supérieur français ne forme pas suffisamment de statisticiens, alors que le marché du travail est de plus en plus demandeur de ce genre de compétences.

Trop peu de formations dispenseraient un enseignement de haut niveau dans ces disciplines qui soit suffisamment tourné vers les applications, avec une large palette d'outils et de méthodes. Ont été souvent cités par les employeurs les trois écoles (l'ENSAE, l'ENSAI et l'ISUP) et quelques DESS. Le seul vivier de recrutement pour les employeurs serait donc les trois écoles précitées et quelques DESS, au nombre de cinq ou six en France. La demande de compétences en ces domaines est donc bien supérieure à l'offre.

Si, par exemple, on trouve assez aisément des profils de mathématiciens financiers de haut niveau, les jeunes diplômés ayant des compétences croisées solides en statistique-probabilités et économétrie, ou en statistique et informatique sont trop rares aujourd'hui. Il y aurait donc une marge de progression importante à exploiter par l'enseignement supérieur français pour répondre à cette demande grandissante de compétences en ce domaine.

Cependant, deux éléments de constat doivent être évoqués : la pénurie préoccupante d'enseignants-chercheurs statisticien et l'enseignement tardif (souvent en 3<sup>e</sup> cycle seulement) de la statistique et des probabilités dans les parcours de formation des jeunes diplômés. Ces deux éléments sont liés. Les enseignants-chercheurs en mathématiques ne sont pas assez attirés par la recherche en statistique en raison du manque de valorisation académique de cette recherche, souvent qualifiée d'empirique. Dans la mesure où les structures de recherche, qui sont les creusets des enseignements dans la discipline, sont insuffisantes, la formation dispensée dans la discipline est elle-même déficitaire en quantité et en influence.



### 3 - DES DISCIPLINES ENCORE TROP CLOISONNÉES

Il conviendrait de favoriser les rapprochements de façon plus systématique.

Au niveau des débouchés, la plupart des applications en mathématiques sont à la frontière de plusieurs disciplines<sup>1</sup>. S'il existe en France un certain nombre de formations de 3<sup>e</sup> cycle dont le positionnement est réellement à l'interface de plusieurs disciplines, ces formations, fort appréciées des entreprises, sont déclarées exister en nombre insuffisant. Des compétences croisées, associant par exemple biologie et statistique, économétrie et statistique, mécanique, électromagnétisme, traitement du signal et calcul scientifique et statistique, sont particulièrement recherchées et assez rarement offertes sur le marché de la formation.

L'enseignement des mathématiques pourrait donc avantageusement se préoccuper de participer au rapprochement des disciplines scientifiques entre elles, pour mieux faire comprendre aux étudiants l'utilité de certains outils. Des modules nouveaux d'enseignement sont créés ici et là dans les écoles ou dans les 3<sup>e</sup> cycles d'université. Citons, par exemple, un module à l'intérieur duquel ont été couplées la modélisation aléatoire et l'informatique pour enseigner les outils statistiques et probabilistes en une pédagogie innovante : en présentant l'outil à travers une application concrète, on en montre l'utilité et on crée la motivation ; dans un deuxième temps, la démarche de formalisation et conceptualisation peut être entamée. Cela milite en faveur du décroisement des disciplines qui peuvent être mises en synergie, à la fois pour les besoins de la pédagogie et pour leur enrichissement mutuel.

### 4 - UNE FORMATION AUX MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES DISPENSÉE TARDIVEMENT DANS LE PARCOURS DE FORMATION

Les applications des mathématiques ne sont pas abordées au lycée, voire dans les deuxièmes cycles. Il serait souhaitable de progresser dans le couplage entre théorie et applications dès le 1<sup>er</sup> cycle universitaire. Les domaines d'application des mathématiques sont portés à la connaissance des étudiants beaucoup trop tard, souvent en 3<sup>e</sup> cycle seulement, sauf dans les filières MIM et MASS. Dans les filières plus classiques, certains enseignants véhiculent une image dévalorisée des mathématiques appliquées auprès des étudiants, considérant que celles-ci ne font pas partie des secteurs les plus nobles des mathématiques.

## XIV - LES CARACTÉRISTIQUES DES FORMATIONS DE NIVEAU BAC+5 OFFRANT UNE BONNE INSERTION PROFESSIONNELLE AUX ÉTUDIANTS

Les formations qui offrent de bons débouchés à leurs étudiants se caractérisent, d'une part, par un bon positionnement et, d'autre part, par la présence conjuguée de plusieurs facteurs d'organisation pédagogique.

### 1 - UN BON POSITIONNEMENT

Les entretiens menés auprès des responsables de formation de 3<sup>e</sup> cycle permettent de classer les formations qui ont de bons débouchés en trois groupes "porteurs" :

- **le groupe des formations polyvalentes.** Leur atout est de dispenser une large culture scientifique en la complétant d'un jeu d'options ; les étudiants sélectionnent une option en vue d'amorcer une spécialisation vers des applications professionnelles porteuses. Ce groupe de formations dispensent une large "culture" mathématique tant au niveau calcul scientifique, analyse numérique, que statistique-probabilités et, grâce au jeu d'options, livrent à l'étudiant des techniques et méthodes porteuses sur des domaines bien identifiés, sans jamais trop le spécialiser.

<sup>1</sup> cf. le paragraphe V de cette étude.



- **le groupe des formations ciblées sur une thématique spécifique.** Rentrent dans ce groupe les DESS spécialisés dans la statistique et l'informatique, la cryptographie, le data-mining, etc. Ces formations accueillent des étudiants qui ont déjà accumulé des compétences dans la thématique durant leurs deux premiers cycles universitaires. Par exemple, les DESS ciblés sur la statistique, l'informatique, recrutent prioritairement des étudiants ayant suivi en amont une filière MIM ou MASS au cours de laquelle ils ont été familiarisés avec la statistique. Un troisième cycle spécialisé leur permet alors de consolider leurs savoir et savoir-faire dans la thématique.
- **le groupe des formations à double, voire triple compétence.** Ce sont, par exemple, les formations qui combinent la statistique avec la biologie, les mathématiques avec la mécanique et l'informatique, les mathématiques financières avec l'économie, les mathématiques avec la gestion etc. Ce groupe de formations est caractérisé par la diversité des parcours de formation amont (en 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> cycles) des étudiants et par la diversité des horizons disciplinaires des enseignants intervenant dans ces formations, ce qui favorise les échanges de compétences et la créativité au niveau des applications.

## 2 - LA PRÉSENCE CONJUGUÉE DE PLUSIEURS FACTEURS D'ORGANISATION PÉDAGOGIQUE

Quel que soit le positionnement choisi, quatre facteurs communs sont repérés comme favorisant la bonne insertion professionnelle des étudiants :

**Une durée de stage d'au minimum trois à quatre mois.** Le stage d'une durée significative à l'intérieur d'une formation permet à l'étudiant mis en situation pratique d'identifier des problèmes concrets, de rechercher les bons outils et méthodes pour proposer des solutions, puis, ultérieurement, de savoir "se vendre" pour un premier emploi auprès d'un responsable de recrutement en faisant valoir cette expérience et la manière avec laquelle elle a été conduite. D'une façon générale, l'intégration, dans la formation, de stages d'une durée significative complétés éventuellement de mémoires et de travaux interdisciplinaires renforce la professionnalisation de la formation et la qualité de l'insertion sur le marché du travail. En outre, les entreprises préfèrent les stages relativement longs pour deux raisons : ils permettent de confier un vrai travail méthodologique aux étudiants et de tester, à travers celui-ci, les qualités conceptuelles de rigueur et d'analyse des jeunes mathématiciens ; en même temps, il permet à l'entreprise de bénéficier "d'un retour sur investissement" en temps de formation consacré au stagiaire, avec apport de valeur ajoutée non négligeable.

**Le couplage de la formation aux mathématiques avec l'informatique.** L'étudiant apprend à associer à la partie théorique des modèles mathématiques la partie informatique destinée aux calculs. Il apprend à agir sur les logiciels pour modéliser, simuler.

**Des techniques d'expression à l'intérieur d'un module spécifique ou adossées à plusieurs modules d'enseignement.** Le jeune scientifique doit apprendre à communiquer clairement autour des choix qu'il fait en réponse à la problématique qui lui a été posée. Savoir convaincre, faire un exposé, montrer les avantages et les limites d'un modèle développé est déterminant pour la conduite et le succès de projets. Trop peu de formations consacraient du temps à transmettre ce savoir-faire qui est, du point de vue des employeurs, très important.

**Une pédagogie comparative.** Devant telle ou telle problématique posée, cette forme de pédagogie transmet au jeune scientifique un certain nombre de réflexes utiles : recherche systématique de plusieurs solutions, analyse des avantages et limites comparés de chacune d'entre elles, choix de la solution "optimale" en fonction du contexte.

<b>GUIDE D'ENTRETIEN SECTEURS INDUSTRIELS ET DE SERVICE</b>
---

**1 - Repérage, dans votre entreprise (ou institut, organisme), des fonctions pour lesquelles la maîtrise d'outils mathématiques est indispensable**

Vous avez besoin dans votre entreprise (ou institut, organisme) de cadres ou de techniciens qui maîtrisent les outils mathématiques (exemples : les techniques de modélisation, les méthodes quantitatives, l'analyse de données, les techniques de simulation etc.)

Pour quelles fonctions ou missions recrutez-vous des personnes qui doivent avoir recours aux outils mathématiques ?

**2 - Définition des profils attendus au moment des recrutements de cadres ou de techniciens maîtrisant les outils mathématiques**

Dans votre entreprise (institution ou organisme), quels responsables définissent les profils des personnes à recruter ? Les profils sont-ils formalisés en amont des recrutements et, si oui, sur la base de quels critères ? Pouvez-vous définir une typologie des profils recherchés en fonction des missions que vous confiez aux personnes recrutées ? Autrement dit, qu'attendez-vous de ces personnes en termes de :

- connaissance d'outils (exemple : maîtrise des techniques de modélisation, du calcul formel, du calcul numérique, des logiciels industriels, maîtrise d'outils complémentaires etc) ;
- compétences méthodologiques (maîtrise de problématiques, rigueur intellectuelle) ;
- compétences comportementales (capacité à travailler en équipe, adaptabilité, diplomatie, capacité à communiquer, à être pédagogue etc.

**3 - Par rapport à un profil de personne à recruter, quels formations et cursus de formation connus de vous vous semblent correspondre le mieux à vos exigences professionnelles ? Pouvez-vous expliquer les raisons de ces préférences ?**

Les réponses pourront aborder les points suivants :

- S'agit-il plutôt de formations d'écoles d'ingénieurs, de formations universitaires, ou des deux ? (on pourra les nommer) ;
- Ces formations sont-elles plutôt à dominante mathématique, à dominante autre discipline (comme l'économie, les sciences de gestion, l'informatique, la biologie etc ?
- Quels vous semblent être les points forts de ces formations ? Quelques exemples :
  - la nature des thématiques dominantes enseignées dans ces formations (exemple : l'analyse des données, les probabilités et statistique, le calcul scientifique etc.) ;
  - l'originalité des plans de formation qui offrent aux étudiants des doubles compétences, voire des compétences pluridisciplinaires (exemples : formation axée sur les mathématiques et l'informatique, sur les mathématiques et la biochimie, la finance et les mathématiques appliquées à l'informatique pour l'apprentissage de la modélisation et du logiciel etc.) ;
  - le caractère très professionnalisant de la formation (nombreux stages prévus, formation en alternance, intervention de professionnels, etc.) ;
  - Autres (exemple : la capacité à utiliser des logiciels complexes, etc.) ;
- Comment avez-vous connu ces formations et eu envie de recruter des jeunes issus de ces formations ?

**4 - Votre politique de recrutement.**

L'axe-t-ous plutôt sur un principe de diversité d'origine des formations ou, au contraire, sur un principe d'homogénéité des origines ?

Sur quels statuts, et à quels niveaux de salaires, les personnes recrutées sont-elles accueillies dans votre entreprise ?

À quel niveau recrutez-t-ous essentiellement ? bac+4 ? bac+5 ? au delà de bac+5 ?

**5 - Avez-t-ous une connaissance suffisante du marché des formations ? (écoles d'ingénieurs ? formations universitaires ?)**

**6 - Quelles compétences fortes avez-t-ous identifiées chez les personnes recrutées ces dernières années ?**

**7 - Avez-t-ous au contraire perçu de vraies faiblesses ou manques qui seraient inhérents à leur formation ? Si oui, quelles solutions préconisez-t-ous pour y remédier ?**

**8 - Avez-t-ous ressenti la nécessité d'envoyer en formation complémentaire, dans le domaine des mathématiques appliquées, des personnels en poste dans votre entreprise depuis quelques années ? Si oui, pouvez-t-ous préciser la nature des compétences nouvelles recherchées pour ces personnels ?**

**9 - Avez-t-ous des besoins de recrutement non satisfaits ? Si oui, pouvez-t-ous expliquer lesquels ? Pouvez-t-ous argumenter autour de cette insatisfaction ?**

**10 - Faites-t-ous appel à des mathématiciens étrangers pour combler les manques et, si oui, quels types de formation serait-il utile d'offrir en France en complément de ce qui existe ?**

<b>GUIDE D'ENTRETIEN RESPONSABLE DE DESS - DEA</b>
--

**1 - Quelle est votre définition des mathématiques appliquées ?****2 - Comment situez-vous le DESS que vous animez dans le champ de l'offre de formation en mathématiques appliquées ?**

Éléments de différenciation de ce DESS ; caractéristiques fortes qui lui donnent une identité ; compétences dominantes qu'il apporte aux étudiants ; débouchés essentiels et opportunités du marché du travail exploitées ?

**3 - Qualité de l'insertion des étudiants de votre formation ?****4 - Si bonne, comment l'analysez-vous ?**

- Qualité du couplage entre les outils mathématiques ? les méthodes ?
- Bonne continuité entre cursus en amont et cursus actuel ?
- Pluridisciplinarité de la formation ou formation à double compétence, ou formation très spécialisée sur un domaine porteur ? (Votre analyse sur ce point. Approfondir)
- Caractère professionnalisant de la formation (nombreux stages, formation en alternance, projets, mémoires en relation avec l'industrie) ?
- Innovations au niveau pédagogique ? (Exemples)
- Points forts au niveau de l'équipe pédagogique (lesquels peuvent être mis vraiment en avant ?)

**5 - Tester la connaissance qu'ont les responsables de formation de la nature des profils formés ainsi que des débouchés-types offerts**

- Secteurs qui recrutent vos étudiants ?
- Thématiques sur lesquelles travaillent vos étudiants ?
- Outils mathématiques les plus usités ?
- Quelles évolutions avez-vous repérées ces dix dernières années au niveau des thématiques ? (quelles thématiques sont devenues particulièrement porteuses ? quelles autres thématiques déclinent ?)
- Même question sur les outils ? Outils porteurs ? en déclin ? suscitant toujours le même intérêt (mais pouvant être utilisés différemment ?)

**6 - Quelles qualités doit avoir un mathématicien appliqué de votre point de vue ? (au plan scientifique, au plan méthodologique, au plan comportemental) ?****7 - Votre point de vue sur l'enseignement des mathématiques appliquées en France**

- Ce que l'on sait bien faire, moins bien faire.
- Sur quels domaines serait-il souhaitable de progresser ?
- Quelles vous sembleraient être les meilleures voies pour progresser ? Rapprochement des disciplines et des outils ? Autre système d'évaluation des enseignants-chercheurs ? Un système de veille pour faire évoluer les outils et les méthodes d'enseignement ?

**8 - De quelle façon faites-vous connaître votre formation ?**

- Avez-vous une politique de communication ?
- Avez-vous créé une association "d'anciens" ? Si oui, quelles sont ses actions ?
- Suivez-vous l'insertion professionnelle de vos étudiants ? Les données sur l'insertion sont-elles exploitées ? Si oui, de quelle façon ?

<b>GUIDE D'ENTRETIEN SMF - SMAI - SFdS</b>
--

**1 - Question de terminologie**

Pouvez-vous nous dire comment vous définissez les mathématiques appliquées ? Que recouvrent les mathématiques appliquées du point de vue de votre société ?

**2 - Les secteurs de débouchés des mathématiques appliquées**

- Nous en avons identifié un certain nombre (Banques/Assurances/SSII/Services suivants des grandes entreprises : recherche et développement, production, marketing, organismes de recherche/Sociétés de consulting/Secteur biomédical). Avons-nous, de votre point de vue, bien couvert tous les champs ? Y a-t-il des manques dans cette énumération ?
- Quels secteurs vous apparaissent offrir les flux de recrutement les plus importants chaque année aux étudiants qui ont fait des mathématiques appliquées ? Pourquoi ? ( ex. de raisons : il pourrait s'agir de secteurs qui recrutent des mathématiciens appliqués ayant un socle de formation assez large, assez généraliste ; on a pu noter que presque toutes les formations aux mathématiques appliquées trouvent des débouchés dans les banques et assurances). Autre(s) raison(s) ?
- Quels secteurs recrutent au contraire annuellement des flux plus minimes, de façon plus ciblée sur des champs de compétences plus spécifiques et pourquoi ?

**3 - Les qualités que doit avoir un mathématicien appliqué**

Pour réussir professionnellement dans ce domaine, quelles sont les principales qualités que doit avoir le mathématicien appliqué ?

- au plan scientifique (maîtrise d'outils, de savoirs..) ;
- au plan méthodologique (exemple : savoir ne pas se concentrer sur un point de vue unique) ;
- au plan comportemental (ex : capacité d'écoute ...).

**4 - Les thématiques en mathématiques appliquées**

Parmi les thématiques entrant dans le champ des mathématiques appliquées, quelles sont celles qui sont actuellement (et en tendance depuis quelques années) :

- particulièrement porteuses ;
- particulièrement en déclin ;
- suscitant toujours un intérêt identique.

Y a-t-il des facteurs explicatifs de ces évolutions ? Observe-t-on des reports de thématiques en déclin sur des thématiques porteuses ?

**5 - De la même façon, quels sont les outils les plus porteurs ?****6 - Thématiques et secteurs de débouchés**

Peut-on établir des liens entre les secteurs de débouchés et les thématiques ? Certains secteurs utilisent-ils plutôt de façon dominante certaines thématiques ? D'autres secteurs ont-ils recours à l'ensemble des thématiques ?

**7 - Les mathématiques appliquées aux frontières de plusieurs disciplines**

Les débouchés semblent féconds pour les mathématiciens qui ont des compétences à la frontière de plusieurs disciplines. Peut-on approfondir ce point en enrichissant les commentaires par des exemples ?

**8 - Positionnement de l'offre de formation par rapport aux demandes sur le marché du travail**

Comment percevez-vous l'offre de formation en France par rapport aux besoins des utilisateurs ?

- Est-on bien en phase ? Si oui, quels sont les domaines sur lesquels il conviendrait d'améliorer "le phasage" ?
- Que préconisez-vous pour améliorer la situation ?

Y a-t-il en France des opportunités de formation encore insuffisamment exploitées en termes de rapprochement entre disciplines (compte tenu d'attentes détectées sur le terrain) ?

**9 - Enseignement des mathématiques appliquées en complément d'une autre discipline au cœur de la formation**

Les mathématiques appliquées sont aussi enseignées dans des formations dont le socle n'est pas mathématique (exemple : l'économie, la finance, la chimie, la biologie, etc.). Y a-t-il des couplages au niveau formation qui vous semblent particulièrement intéressants et féconds pour les débouchés qu'ils offrent en termes d'emplois. Pouvez-vous les citer et donner des exemples ?

CONCLUSION  
DE L'ÉVALUATION  
DES FILIÈRES  
UNIVERSITAIRES





## PRÉAMBULE

Pour mieux lire les résultats de cette évaluation, il est important de garder en mémoire que les informations chiffrées ont été obtenues au cours de l'année universitaire 1999-2000 : elle ne prend donc en compte que les chiffres des années antérieures, et partiellement ceux de 1999-2000. Pour diverses raisons, en particulier l'ampleur de la tâche, le travail d'évaluation a duré jusqu'au début de 2002. Ainsi, certaines universités peuvent noter des décalages entre leur situation à la publication de ce rapport et celle qui y est décrite. Beaucoup de changements entre 2000 et 2002 nous ont d'ailleurs été communiqués par les universités en même temps que leurs remarques sur le rapport préliminaire. Cet étalement dans le temps aura au moins permis la constatation très fréquente d'une évolution positive et la mise en place d'actions nouvelles en direction des mathématiques appliquées depuis la visite des experts. Il est satisfaisant de constater à cette occasion que le domaine est loin d'être statique et que de nouveaux enseignements continuent à être créés.

## LE CHAMP D'ÉVALUATION

Cette évaluation des filières universitaires en mathématiques orientées vers les applications a donc concerné la cinquantaine d'universités offrant au moins une telle filière au niveau bac+5. Parmi elles, ont été évaluées 28 MIM, 16 des formations bac+4 en MASS, 30 DESS, une quarantaine de DEA ou d'options "appliquées" de DEA. Il faut y ajouter 7 IUP à orientation mathématique.

## À PROPOS DES EFFECTIFS

Il faut d'abord souligner la très grande disparité des effectifs de ces formations sur le territoire national.

Ceci est particulièrement flagrant pour les DEA, pour lesquels on trouve la moitié de l'effectif global en région parisienne avec de très "gros" DEA, par opposition à ceux de province qui accueillent presque toujours des "petits", voire "très petits" effectifs.

Par contre, on trouve plutôt les DESS en province, répartis sur toute la France (seulement trois à Paris même).

Les MIM et les MASS sont bien réparties, avec cependant l'absence curieuse de MASS dans l'Est.

Il ressort clairement des chiffres que le nombre des étudiants inscrits dans ces filières a sensiblement augmenté ces dernières années : de 659 en 1995 à 1062 en 1999 pour les MIM, de 486 à 573 pour les licences MASS considérées dans le champ de l'évaluation, de 400 en 1996 à 632 en 1999 pour les DESS ; ces niveaux sont restés stables pour les DEA, 856 en 1996 et 844 en 1999 : ces derniers chiffres sont en contradiction avec l'impression qu'ont les acteurs de terrain d'une désaffection récente des élèves pour les DEA en mathématiques en général. Mais, comme nous l'avons souligné, nous ne disposons pas des données quantitatives de 1999 à 2002. Les chiffres laissent cependant apparaître au plan des effectifs une situation assez favorable pour les DEA en probabilités et statistique, et un peu inquiétante pour les DEA en équations aux dérivées partielles et calcul scientifique. Une analyse plus approfondie de ce constat mériterait d'être menée. Un fait clairement établi est le déséquilibre de mixité, avec une quasi-absence de filles, sauf dans les filières MASS où elles constituent la moitié des effectifs et se retrouvent donc parfois majoritaires.

## PEU DE DÉBOUCHÉS À BAC+4

Une règle générale se dégage nettement : les formations à bac+4 ne conduisent pas, sauf exception, à une intégration directe dans la vie active. Les MIM et les MASS s'avèrent être de très bonnes préparations aux DESS et gardent donc en cela leur caractère de formation professionnalisante, mais pour une sortie ultérieure à bac+5. Sans doute la situation est-elle bien ainsi, s'inscrivant tout à fait dans le schéma européen des étapes 3/5/8. Ce constat, identique pour les IUP, est plus inquiétant car ceux-ci sont supposés conduire leurs étudiants à une embauche directe en fin de cursus et être fortement articulés avec le milieu professionnel.

Sauf en de rares exceptions, ils ne remplissent pas cet objectif, leurs diplômés se dirigeant majoritairement vers une formation bac +5.

Une évolution est certainement nécessaire. Il ne faudrait cependant pas qu'elle annihile la démarche originale que la création de ces IUP a induite. Le transfert direct vers le milieu professionnel et la valorisation immédiate des connaissances et savoir-faire mathématiques n'est pas si simple. Il faut accompagner et encourager les efforts qui ont été faits en ce sens.

Le réseau d'IUP du secteur STIC (Sciences et techniques de l'information et de la communication), auquel se rattachent les IUP à orientation mathématique, fédère actuellement un ensemble de DESS qui pourraient accueillir leurs étudiants pour une sortie à bac +5 et non plus à bac +4. La réflexion devrait, en fait, s'inscrire dans une problématique plus générale qui concerne le décalage des IUP par rapport au schéma 3/5/8.

### **SUCCÈS DES DESS**

Les DESS en mathématiques sont, pour leur part, un réel succès. Ils jouent pleinement leur rôle : ce sont de vraies formations professionnalisantes avec de réels débouchés dès la sortie. Les formations sont très attractives et le recrutement à l'entrée suffisamment bien organisé pour conduire à pratiquement 100% de réussite partout : le "rendement" est donc optimal. Les débouchés sont nombreux et variés. Il est clair que les DESS ont trouvé leur créneau auprès des entreprises, où leurs diplômés sont en concurrence avec les élèves des écoles d'ingénieurs. Leur double compétence mathématique et informatique leur confère une originalité sur le marché du travail à ce niveau. Ils sont souvent embauchés pour leurs capacités à utiliser l'outil informatique et à exploiter les logiciels complexes. On y apprécie aussi la capacité d'autonomie que leurs études, dans l'environnement universitaire, leur ont permis d'acquérir.

Quelques DEA jouent aussi le rôle de DESS, en conduisant, avec autant de succès, une partie de leurs étudiants immédiatement vers la vie active. On peut s'étonner de cette confusion d'objectifs, mais il n'y a pas lieu de s'en inquiéter : d'une part, il subsiste alors toujours une partie des étudiants poursuivant en recherche ; d'autre part, de nombreuses entreprises sont précisément intéressées par le profil "recherche" de ces diplômés pour leur secteur recherche et développement. Il est probable que toutes ces appellations évolueront avec la mise en place toute prochaine de mastères.

### **PAS SUFFISAMMENT DE FORMATION CONTINUE**

Il est dommage qu'on ne trouve pas plus de formation continue en mathématiques. Plusieurs des formations initiales, en particulier en DESS, sont ouvertes à la formation continue, mais très peu d'étudiants s'y inscrivent. Il y a certainement là un effort à faire, de la part des mathématiciens, en faveur d'actions de communication et de publicité autour du potentiel qu'ils ont à offrir. Mais il faut noter aussi qu'il est sûrement difficile de se remettre à étudier à nouveau les mathématiques après une coupure de plusieurs années avec le système universitaire, d'autant plus en intégrant un groupe de formation initiale. Cela implique sans doute une mobilisation de moyens spécifiques au service du développement de la formation continue.

### **L'ORGANISATION DES ENSEIGNEMENTS**

On peut dégager un certain nombre de tendances générales quant à l'organisation et l'articulation des enseignements en mathématiques appliquées de bac +3 à bac +5.

L'enseignement en mathématiques est rarement différencié en licence (il n'existe d'ailleurs pas d'habilitation pour une licence spécifique orientée vers les applications). La différenciation se fait donc en maîtrise.

Les DEA sont alimentés par les maîtrises de mathématiques pures (ou maîtrises sans mention) ; il en est de même de la préparation à l'agrégation de mathématiques (cf. infra). Le plus souvent, les étudiants de MIM et de MASS poursuivent ensuite en DESS, et rarement en DEA.

On peut regretter que les étudiants de MIM ne s'inscrivent pas davantage dans les DEA qui offrent des options de mathématiques appliquées. Plusieurs faits y contribuent : le contenu des enseignements en DEA qui restent, malgré leur appellation "appliquée", pour la plupart, très théoriques, avec une structure copiée sur celle des DEA traditionnels : peu de cours, des contenus denses, des examens classiques assez exigeants du point de vue théorique et des mémoires de DEA le plus souvent axés autour d'études d'articles, rarement sur des études appliquées. Ceci se vérifie sur les tableaux récapitulatifs des DEA où l'on voit qu'aucune place, ou presque, n'est faite aux enseignements annexes, pas même à l'informatique.

Ainsi, les enseignements en MIM ou en MASS sont plutôt conçus pour déboucher sur des DESS et tout au moins perçus comme tels. Un étudiant qui se destine à la recherche en mathématiques appliquées choisira donc de préférence une autre maîtrise de mathématiques qu'une MIM ou une MASS. Ceci biaise tout naturellement le recrutement et les flux dans ces diverses maîtrises, et pousse les meilleurs étudiants à délaisser à ce stade les formations en mathématiques appliquées, même -et peut-être surtout- s'ils veulent faire carrière dans ce domaine... Et pourtant, huit nouvelles MIM ont été créées entre 1996 et 2000.

On note aussi un brassage important d'une université à l'autre entre bac+4 et bac+5. Beaucoup d'étudiants quittent leur université pour aller faire le DESS de leur choix dans une autre. Cela se constate sur les flux d'entrée dans les DESS, où la part de recrutement extérieur est toujours importante. Ce fait est à ce point vrai que beaucoup d'universités ne se préoccupent pas trop de la continuité de leurs enseignements MIM-DESS ou MASS-DESS, mais s'assurent plutôt que leurs enseignements en DESS s'adressent au plus grand nombre.

## LE CONTENU DES ENSEIGNEMENTS

**Il est très varié.** Les enseignements se différencient très nettement des cursus traditionnels en mathématiques et, loin d'être figés, semblent au contraire toujours en mouvement.

**Les mathématiques appliquées des deux familles prédominantes en MIM et MASS y sont enseignées.** D'une part, les probabilités, la statistique, l'analyse de données statistiques ; d'autre part, l'analyse numérique, le calcul scientifique, l'optimisation et les équations aux dérivées partielles. En milieu professionnel, ces deux origines de formation aux mathématiques appliquées sont bien différenciées (cf. l'étude sur les débouchés).

**Les mathématiques des MASS relèvent presque exclusivement des probabilités et statistique.** La diversité des applications y est étonnante : outre l'économie, la gestion, la finance, le marketing qui sont assez classiques on trouve aussi des domaines plus originaux comme la linguistique, la géographie, l'aménagement, la démographie, l'épidémiologie, la communication homme-machine ...

**Certains DESS sont spécialisés sur ces thèmes (cf. l'étude sur les débouchés).** Outre les enseignements traditionnels relevant des deux familles précitées, les programmes font référence à des mots clés comme : modélisation de l'entreprise, aide à la décision, imagerie, traitement du signal, bio-statistique, *data mining*<sup>1</sup>, géologie, codage, chimie de l'environnement, gestion de la qualité... Dans les MIM et DESS sont apparus également des thèmes nouveaux liés à la cryptographie<sup>1</sup>, au calcul formel, à l'actuariat<sup>1</sup>, aux mathématiques discrètes en général.

---

<sup>1</sup> On se référera au lexique.

### **QUELQUES FORMATIONS ORIGINALES**

De l'initiative et du dynamisme des équipes enseignantes de mathématiques appliquées des universités ont émergé des formations originales et souvent couronnées de succès dans les établissements. Sans être exhaustifs, on peut citer quelques exemples :

- MIM, option assurance, délivrée uniquement par voie d'apprentissage ;
- DESS Méthodes quantitatives et Modélisation pour l'entreprise ;
- DESS Techniques de la décision dans l'entreprise ;
- DESS Informatique, Statistique, Mathématiques appliquées à la gestion de production ;
- DESS Modélisation stochastique et Recherche opérationnelle ;
- DEA de Cryptographie, DEA Probabilités et Finance ;
- DEA Statistiques et Modèles aléatoires en économie et finance.

### **MODÉLISATION ET ÉTUDE DE CAS**

Si les enseignements des outils mathématiques sont bien visibles dans les programmes de formation, la partie "modélisation ou étude de cas", peu identifiable dans les programmes, est probablement moins présente. Dans les MIM et DESS annoncés comme orientés vers tel ou tel domaine d'application, y compris la mécanique, domaine d'application privilégié des mathématiques, on voit trop rarement apparaître dans le cursus des modules explicitement prévus pour la formation à la modélisation. Cette formation est pourtant essentielle, car elle permet déjà au mathématicien de s'approprier le vocabulaire (ou le "jargon") des experts du domaine scientifique auquel il est censé appliquer ses outils. Elle est, d'autre part, une interface essentielle pour traduire en termes ou en équations mathématiques un problème donné. Il y a certainement là un effort à faire au niveau du contenu des formations si l'on souhaite valoriser et transférer de façon toujours plus large les outils mathématiques les plus modernes en direction des secteurs industriels et de service.

### **L'ENSEIGNEMENT DE L'INFORMATIQUE**

Il est, quant à lui, tout à fait satisfaisant : les tableaux d'évaluation font état d'un bon, voire souvent très bon ou excellent enseignement, tant théorique que pratique (formation aux logiciels, utilisation pratique dans des projets, etc.). Comme on l'a déjà dit plus haut, la maîtrise de cette compétence facilite l'insertion sur le marché de l'emploi.

L'équipement informatique dont disposent les universités est très variable, la difficulté majeure étant de se procurer les logiciels adéquats pour les formations professionnalisantes. Il semblerait que la situation plus ou moins favorable dépende essentiellement de l'investissement individuel et de la qualité des contacts extérieurs de tel ou tel enseignant responsable de la formation qui résout au mieux les difficultés financières d'acquisition de logiciels du marché, logiciels indispensables pour une formation pertinente. D'autre part, le manque de personnel pour assurer la gestion des parcs informatiques est criant à peu près partout.

### **LES STAGES**

Il est intéressant d'observer la diversité de la pratique des stages dans les formations.

Ils sont rarement obligatoires dans les MIM et, quand ils existent, ils sont très courts. Ils existent rarement en DEA (où ils prennent plutôt la forme d'un mémoire dans le laboratoire d'accueil).

Ils sont plus systématiques dans les MASS et toujours présents dans les DESS avec des durées minimales de trois à quatre mois en général, ainsi que dans les IUP (l'obligation statutaire d'au moins 19 semaines sur 3 ans y est toujours satisfaite).

Globalement, on peut regretter qu'ils ne soient pas plus longs.

C'est un peu comme s'ils étaient introduits timidement dans les cursus. Il est vrai que c'est une pratique encore récente dans les milieux mathématiques et qu'il faut encourager les initiatives en ce sens qui, aujourd'hui encore, restent le plus souvent le résultat d'investissements individuels.

Il faut d'ailleurs noter que rien n'est réellement prévu dans les services des enseignants des universités pour tenir compte de cette tâche de recherche et de suivi de stages dont ceux qui l'ont pratiquée savent combien elle peut être lourde.

## LE TAUX DE RÉUSSITE

**Quelques bons taux de réussite.** Ils sont excellents dans les DESS (pratiquement 100%) et très bons dans les IUP (95%). Ils sont satisfaisants dans les MASS (environ 80%).

**Une part non négligeable d'échecs.** Les taux de réussite sont par contre très faibles dans la plupart des licences de mathématiques. Les rapports diplômés/inscrits ont pu être recueillis et sont alarmants. Ils sont souvent inférieurs à 50% en licence et peuvent descendre au-dessous de 40%, ce qui n'est pas acceptable à ce niveau de formation. Ce phénomène n'a pas été explicitement analysé dans ce rapport puisque les licences de mathématiques n'étaient pas au cœur de cette évaluation, concentrée uniquement sur les mathématiques appliquées. La situation est à peine meilleure dans les maîtrises de mathématiques pures ou sans mention, un peu plus favorable dans les MIM (65%). Elle n'est pas non plus satisfaisante dans les DEA (66% en moyenne), compte tenu du fait que le recrutement s'effectue sur dossier.

Il y a certainement nécessité d'une réflexion sur ce point. Il ne suffit plus de dire que le niveau moyen des étudiants est "insuffisant". Il est indispensable de prendre des mesures pour réduire ces échecs, et de prendre en compte, d'une part, le besoin important d'enseignants en mathématiques qui doit aller croissant dans les années qui viennent si on s'en tient aux prévisions, et, d'autre part, une grosse demande, pas encore totalement satisfaite, de mathématiciens appliqués de niveau bac+5. Il faut, en particulier, assurer un flux de licenciés suffisant. Cela passe sans doute par une adaptation des enseignements au public visé.

## LE SUIVI DU DEVENIR DES ÉTUDIANTS

Cette évaluation a montré qu'il était extrêmement difficile d'obtenir des informations complètes sur le devenir des diplômés et les chiffres obtenus sont, en règle générale, incomplets. C'est un point très faible qui ressort de cette étude. Bien sûr, le suivi des étudiants nécessite une démarche spécifique ; elle est parfois assurée, grâce à l'énergie de quelques enseignants qui y consacrent une partie de leur temps, ou grâce à l'attention dévouée d'une secrétaire qui tient à jour son fichier d'adresses et relance les étudiants par courrier après leur départ jusqu'à obtenir les renseignements voulus, ou grâce encore, mais trop rarement, à des associations d'anciens élèves.

On doit recommander un effort des universités pour y remédier, non seulement en développant les observatoires d'insertion professionnelle, mais aussi en intervenant "localement" par des incitations et des moyens *ad hoc* dans les secrétariats des formations, ainsi qu'en encourageant la création d'associations d'anciens élèves.

### Les mathématiques de service

Les tableaux font apparaître dans chaque université un horaire important pour les "mathématiques de service" dans les formations non spécialisées en mathématiques. Pourtant, ces enseignements sont loin d'être assurés par les seuls mathématiciens et il y a là une question de fond déjà soulevée à propos des écoles d'ingénieurs (cf. l'étude les concernant) : les "mathématiques de service" doivent-elles être assurées par des mathématiciens de métier ou plutôt, comme c'est plus souvent le cas, par les utilisateurs ?

On connaît le reproche traditionnellement fait aux mathématiciens de ne pas tenir compte de la spécificité de leur auditoire et de lui offrir des cours trop théoriques et peu adaptés à ses besoins. Ce reproche, souvent justifié, explique que les mathématiciens soient si peu présents dans les licences de physique, chimie et autres filières de leur propre université, cédant leur place aux enseignants d'autres disciplines.

Il y a ainsi un risque réel que les mathématiques y soient enseignées de façon trop utilitaire, avec une tendance à la diffusion de "recettes", ce qui est, bien sûr, trop limitatif ; de plus, les progrès en mathématiques y sont sans doute moins vite intégrés qu'ils ne le seraient avec des mathématiciens.

Il est clair qu'avec la part plus importante accordée maintenant aux applications, la génération actuelle de mathématiciens est davantage rompue à enseigner à des auditoires non mathématiciens. Des efforts devraient être faits pour tirer partie de cette évolution positive. Ils ne devraient d'ailleurs pas concerner les seuls mathématiciens appliqués : ceux-ci sont déjà très sollicités dans tous les nouveaux enseignements et répondent beaucoup à ces demandes extérieures ; en conséquence, parce qu'ils ne sont pas assez nombreux, ils sont trop peu présents dans les enseignements de base en DEUG et en licence, ce qui est regrettable car la sensibilité aux applications des mathématiques devrait être transmise aussi tôt que possible et pas seulement à bac+4. Les mathématiciens sensibilisés aux applications devraient donc être plus nombreux et intervenir davantage dans les mathématiques de service et dans les 1<sup>ers</sup> cycles.

### **LES MAGISTÈRES**

Il est étonnant qu'on ne trouve pas plus de références aux magistères dans les rapports des experts. Ceux-ci existent pourtant en mathématiques dans 11 des universités et annoncent souvent des objectifs "appliqués". Il est vrai qu'il n'avait pas été donné mission explicite aux experts d'examiner ces formations (les magistères, tous domaines confondus, ont d'ailleurs fait l'objet d'une évaluation spécifique du CNE en 1995). On aurait pu cependant s'attendre à les voir mentionnés plus souvent puisqu'ils sont intimement mêlés aux formations de licence et maîtrise qui en constituent l'essentiel du cursus, et qu'ils apportent en plus des spécificités empruntées aux formations appliquées : existence de projets informatiques, de stages, obligation d'une langue, encouragement à la pluridisciplinarité par des modules complémentaires...

### **FAUT-IL OUVRIR DE NOUVELLES FORMATIONS ?**

Il est difficile, au terme de ce travail, d'apporter une réponse précise à cette question. Dans l'hypothèse d'une réponse positive, on ne saurait dire précisément dans quels domaines il faut ouvrir de telles formations, et surtout à quel rythme.

Cependant, quelques éléments de constat doivent être rappelés. L'étude sur les débouchés présentée dans ce volume fait clairement état d'un recouvrement insuffisant dans le domaine des statistiques. Il y est également souligné combien les besoins majeurs se situent le plus souvent aux frontières de plusieurs sous-disciplines des mathématiques et de l'informatique : la demande semble croissante de jeunes mathématiciens avec une sensibilité "appliquée" et une capacité à utiliser et valoriser leurs connaissances mathématiques dans les contextes les plus variés. Il y a donc sans doute une nécessité d'élargir les flux de diplômés à bac+5.

Cette question de l'élargissement des flux est à mettre en perspective avec le constat sur la diminution des effectifs de diplômés de licence et sur le moindre potentiel de bons candidats pour ces filières d'université. L'augmentation du nombre d'élèves dans les grandes écoles a sans doute une incidence sur l'affaiblissement constaté du potentiel d'étudiants de bon niveau s'inscrivant à l'université. Il est, en effet, passé de 57 600 en 1990-1991 à 75 600 en 1995-1996, puis 85 400 en 1999-2000. Même si les grandes écoles concernent des disciplines très variées, et pas seulement des mathématiques, on sait que les mathématiques y sont un instrument de sélection important et que bon nombre de candidats "forts en maths" y sont admis. Parmi ceux-ci, on trouve de nombreux étudiants potentiellement plus intéressés par les applications des mathématiques que par les mathématiques pour elles-mêmes, compte tenu de leur choix de formation.

Un réel effort pour attirer de bons étudiants dans les filières universitaires de mathématiques appliquées doit donc être fait dès le niveau bac+3 et, plus généralement, l'intérêt pour les mathématiques appliquées doit être éveillé et stimulé le plus tôt possible dans le cursus universitaire, tant les débouchés sont importants et méconnus des étudiants en fin de cursus à niveau bac+5.

On doit aussi penser à exploiter l'investissement fait dans les IUP. On y a trouvé de nouvelles formules pour une meilleure pénétration des mathématiques en milieu professionnel. Le cadre, différent de celui des seconds cycles classiques, est plus propice à la pluridisciplinarité.

### LIENS AVEC LA RECHERCHE

On constate le plus souvent un lien étroit entre les enseignements orientés vers les applications et la recherche tournée elle-même vers les applications. La création de tels enseignements est souvent liée au dynamisme d'enseignants-chercheurs qui, par la sensibilité acquise dans leurs activités de recherche et leurs contacts avec les utilisateurs des mathématiques, mesurent avec justesse les besoins en matière de formation et conçoivent avec beaucoup de pertinence les programmes d'enseignement.

Leurs contacts avec le milieu économique et industriel facilitent l'insertion des stagiaires et ces stages sont souvent eux-mêmes des vecteurs pour les échanges entre équipes de recherche université-entreprise : il n'est pas rare de voir une collaboration entre l'université et l'industrie se mettre en place à l'occasion d'un stage de DESS.

Le contenu des enseignements de DEA est évidemment adossé directement aux recherches récentes, cette articulation étant au cœur de la formation (formation à la recherche). Les DEA forment les futurs chercheurs et les enseignants-chercheurs en mathématiques appliquées. Nous avons cependant mentionné combien l'enseignement y restait cependant un peu trop théorique et insuffisamment tourné vers les applications ; on peut le regretter et souhaiter que les enseignants-chercheurs soient davantage formés aux applications, de telle sorte qu'ils puissent à leur tour stimuler l'intérêt des étudiants pour les mathématiques appliquées le plus tôt possible dans le cursus universitaire.

### MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES ET FORMATION DES ENSEIGNANTS

**Les mathématiques appliquées sont quasi absentes de la formation des enseignants.** Les rapports d'évaluation faits sur chaque université montrent que la préparation au CAPES et à l'agrégation de Mathématiques est, en effet, traditionnellement un "domaine réservé" des mathématiques "pures". Les mathématiciens appliqués n'interviennent pas dans les préparations aux concours de l'enseignement.

Le programme des concours ne comporte quasiment pas de mathématiques appliquées. Ainsi, la MIM n'est jamais conseillée à ceux qui visent l'agrégation dans les plaquettes de présentation des enseignements. Pour ceux qui se destinent au CAPES, on conseille à la rigueur de prendre un module de didactique, mais jamais le suivi d'enseignements en mathématiques appliquées.

C'est ainsi que nous avons en place des générations de professeurs qui enseignent les mathématiques dans nos collèges et nos lycées (y compris les classes préparatoires) sans avoir été formés aux mathématiques pour leurs applications.

**Des efforts récents sont faits pour introduire des mathématiques appliquées dans le programme de l'agrégation.** Jusqu'aux concours de 1998, l'une des trois épreuves écrites de l'agrégation offrait le choix entre quatre options "appliquées" : probabilités, analyse numérique, mécanique ou informatique. Cette épreuve restait cependant très académique et sa préparation n'induisait pas vraiment de formation aux mathématiques appliquées.

Elle a été supprimée à partir du concours de 1999 pour donner place à une toute nouvelle épreuve orale de "modélisation" avec deux options, "probabilités et statistique" et "calcul scientifique : méthodes numériques et symboliques", incluant une simulation sur ordinateur, tout ceci avec, dans le programme officiel, des thèmes d'application privilégiés.



Ces thèmes sont partiellement modifiés tous les ans : pour le concours 2002, ils sont par exemple : géométrie effective et appliquée, modèles en économie et en finance, modèles mathématiques en biologie, propagations d'ondes, télécommunications.

Cette modification du programme de l'agrégation, même si elle n'affecte que le 1/5<sup>e</sup> des épreuves, a eu un impact important sur les contenus de la préparation à l'agrégation, qui comporte maintenant une part significative d'initiation aux mathématiques appliquées, associée à une formation à la simulation sur ordinateur et à l'utilisation de logiciels.

Elle a aussi eu des conséquences sur la répartition des services dans les départements de mathématiques : la préparation à l'agrégation est moins l'apanage des « mathématiciens purs » et cette tendance est certainement à encourager.

Ainsi, même si cette nouvelle épreuve n'est pas sans défauts, au moins envoie-t-on maintenant dans nos lycées des professeurs dont la formation a pris en compte l'évolution des mathématiques et de leur rôle. Les agrégés ne constituent cependant qu'une minorité d'entre eux (320 postes de mathématiques à l'agrégation contre 1 125 au CAPES, par exemple, en 2002).

**Il est urgent qu'une évolution analogue ait lieu pour les épreuves du CAPES de Mathématiques.**

### **PRINCIPAUX RECOUPEMENTS ENTRE LES CONCLUSIONS DE L'ÉVALUATION DES FILIÈRES UNIVERSITAIRES ET LES CONCLUSIONS DES DEUX ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES**

Nous retenons en particulier les points suivants :

- le succès des DESS auprès des entreprises est confirmé : on peut faire état d'une satisfaction générale dans l'ensemble des entreprises qui ont recruté des diplômés de DESS ;
- la lisibilité des programmes de DESS est par contre insuffisante : les entreprises connaissent mal les différents DESS. Quelques DESS en mathématiques sont spontanément cités par les entreprises mais la majorité est peu connue ; un réel effort de communication est nécessaire pour les promouvoir, d'autant que ces formations sont très appréciées ;
- on retrouve une parfaite cohérence entre les deux typologies suivantes : celle proposée pour l'évaluation des filières universitaires (typologie proposée sur les champs d'application des mathématiques et sur les "cultures" dominantes en MA) et celle qui se dessine à l'issue de l'étude menée sur les débouchés dans les secteurs industriels et de service. La classification retenue au départ pour l'évaluation des filières universitaires s'avère donc pertinente. Les deux grandes "cultures" dominantes évoquées au départ, "statistique et probabilités", "EDP et calcul scientifique", apparaissent clairement dans l'étude des débouchés.

L'extrême variété des domaines touchés par les mathématiques est bien confirmée par l'étendue des secteurs qui embauchent les jeunes mathématiciens ;

- le recours à la modélisation et à la simulation numérique apparaît de plus en plus fréquent dans la plupart des secteurs ;
- l'importance de la formation en informatique et aux outils logiciels est fortement soulignée dans l'étude des débouchés. La maîtrise de compétences en ce domaine est donc une condition requise dans de nombreux recrutements.
- plus généralement, le rôle du mathématicien appliqué en entreprise est bien mis en évidence : il doit puiser les solutions cherchées dans les "boîtes à outils" existantes et, à défaut, créer les outils nécessaires ou inventer l'approche théorique ad hoc ; or, cela correspond bien aux objectifs visés dans les formations universitaires : faire acquérir ces compétences aux étudiants.



- l'absence quasi générale de débouchés professionnels au niveau bac+4 est confirmée auprès des entreprises interrogées ; les employeurs recrutent au minimum à bac+5 ; ils perçoivent l'année de spécialisation en DESS, voire en DEA, comme très formatrice dans le domaine des mathématiques appliquées ; l'étudiant y acquiert une culture orientée vers les applications tout en élevant son niveau théorique de façon appréciée ;
- l'analyse des débouchés fait apparaître une demande importante en statistique : l'offre de formation actuelle dans cette discipline semble insuffisante ; depuis plusieurs années, on se plaint du manque de statisticiens et on n'observe pas d'inversion de tendance ; il y a certainement un problème de "culture" en France par rapport à cette discipline sans doute insuffisamment valorisée au niveau académique<sup>1</sup>. On note, par exemple, qu'aucun enseignement en statistique n'est mentionné dans les ENS de Paris et de Lyon...
- l'étude sur les écoles d'ingénieurs montre deux choses : l'enseignement des mathématiques reste souvent centré sur les matières de base et n'intègre pas toujours les évolutions récentes des mathématiques ; de même, les enseignements en informatique n'ont pas toute la place qu'ils devraient avoir ; à l'inverse, les DESS proposent souvent des enseignements nouveaux et des modules de formation aux logiciels. C'est pourquoi les diplômés des DESS sont appréciés sur le marché du travail et y ont trouvé un créneau en raison du bon positionnement de ces formations.
- les enseignements "de service" en mathématiques dans les écoles d'ingénieurs sont assurés en grande partie par les utilisateurs et non par des spécialistes : nous sommes ramenés à la même question de fond, déjà posée pour les enseignements "de service" dans les universités, de savoir si c'est là une situation saine ; la question du renouvellement du contenu de ces enseignements est peut-être plus cruciale ici.

## SYNTHÈSE

L'évaluation des filières universitaires en mathématiques orientées vers les applications a permis de dégager un ensemble de caractéristiques que l'on peut classer en points forts et points faibles.

### Points forts

- une augmentation sensible des effectifs étudiants sur les cinq dernières années ;
- le succès des DESS et donc de la professionnalisation à bac+5 avec ce diplôme ;
- une très grande et riche diversité des applications des mathématiques ;
- une excellente dynamique en général sur le terrain de la formation pour prendre en compte les mathématiques pour les applications et introduire les nouveaux outils ;
- une bonne intégration de l'informatique à la formation aux mathématiques appliquées ;
- un brassage inter-universités des étudiants de bac+4 à bac+5 ;
- une bonne répartition des formations sur le territoire national (à l'exception des DEA, très concentrés en région parisienne).

### Points faibles

- l'absence de sortie dans la vie active à bac+4, y compris pour les IUP ;
- l'absence de flux MIM-DEA ;
- de petits effectifs dans les DEA de province ;
- une faible proportion féminine (sauf dans les MASS) ;
- des taux de réussite très faibles en licence, maîtrise et DEA (les taux sont bons en DESS et IUP) ;
- l'absence de formation continue en mathématiques appliquées ;

---

<sup>1</sup> Rapport de l'Académie des sciences sur la science et la technologie, n° 8 : la statistique, juillet 2000 (édition TEC et DOC).

- des stages intégrés à la formation un peu trop courts en moyenne, alors que la présence d'un stage d'une durée minimum de trois mois sur un CV est un facteur d'insertion rapide en entreprise ;
- une formation à la modélisation ou aux études de cas insuffisante dans les filières bac + 5 ;
- l'absence d'enseignement des mathématiques appliquées dans la formation des enseignants en mathématiques ;
- une méconnaissance du devenir des étudiants après le DEA, le DESS ou le doctorat ;
- le manque de moyens humains pour la gestion des parcs informatiques, alors que les formations les plus pertinentes sont celles qui associent l'informatique aux mathématiques.

### **Recommandations**

Il conviendrait de favoriser :

- l'introduction d'une sensibilisation aux applications des mathématiques dès les 1<sup>ers</sup> cycles, ou le plus tôt possible dans le cursus ;
- l'introduction de façon significative de mathématiques pour les applications dans la formation des enseignants ;
- la mise en place d'une épreuve de concours orientée vers les applications au CAPES de Mathématiques, à l'image de l'épreuve qui a été introduite en 1999 au concours de l'agrégation ;
- une augmentation de la pratique et de la durée des stages, et des interventions plus systématiques de professionnels dans les formations ;
- la prise en compte du suivi et de l'encadrement des stages, dans les services des enseignants, la tâche étant particulièrement "lourde" en termes de temps à y consacrer ;
- un accroissement des interventions des mathématiciens dans les formations des autres disciplines ;
- la mise en place de structures pour le suivi du devenir des étudiants ;
- une augmentation substantielle des moyens humains pour la gestion des équipements informatiques.