

Mathématiques et formations d'ingénieurs

L. Carraro

QUELQUES ELEMENTS QUANTITATIFS SUR LES ECOLES D'INGENIEURS ET SUR LES MATHEMATIQUES¹

EFFECTIFS PAR TYPE DE FORMATION

L'étude menée lors de la publication du rapport Goulard (mai 2007) a été l'occasion de mettre en évidence deux phénomènes malheureusement contradictoires. Le premier est que la condition nécessaire au pilotage de l'enseignement supérieur consiste en une bonne visibilité des flux étudiants (sans aller pour autant jusqu'au suivi de cohortes), mais le second est que les données de flux sont rares et éparses, en tout cas très loin du minimum nécessaire. C'est la raison pour laquelle sont reproduites ici seulement des données relatives aux effectifs.

Les données disponibles montrent qu'à la stabilité des effectifs globaux présents dans le système de l'enseignement supérieur, enseignement privé compris, s'oppose une chute des effectifs dans les filières universitaires (type LMD) contrebalancée par une augmentation dans les autres filières de formation.

Le tableau et les graphiques qui suivent en donnent un résumé. On prendra garde au fait que les effectifs annoncés sont classés **par filière de formation** et non **par structure**. Par exemple, des filières de formations d'ingénieurs sont présentes dans les universités mais les formations correspondantes ne sont pas du type LMD, ce qui explique leur présence dans le tableau sous la rubrique « formations d'ingénieurs ».

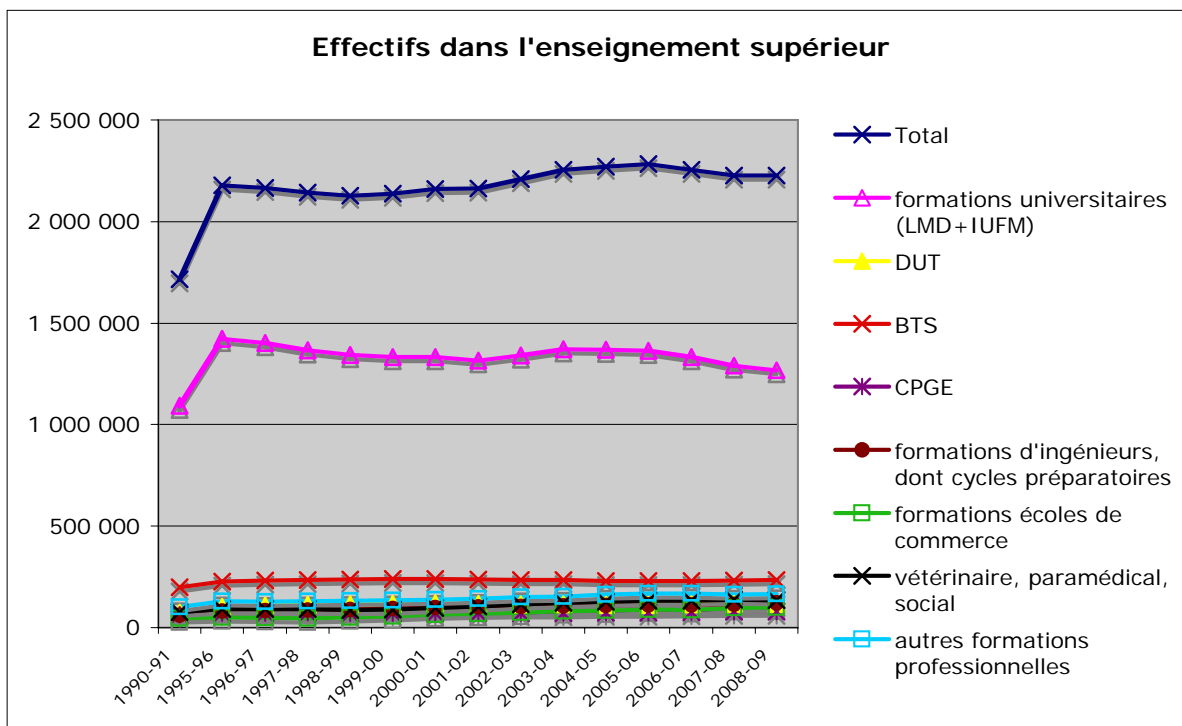
	1995-1996	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
formations universitaires (LMD+IUFM)	1 424 159	1 370 004	1 365 081	1 333 586	1 291 213	1 267 325
IUT	103 092	112 395	112 597	113 769	116 223	118 115
STS	226 254	230 275	230 403	228 329	230 877	234 164
CPGE	70 288	73 147	74 790	76 160	78 072	80 003
formations d'ingénieurs, dont cycles préparatoires	81 989	110 528	111 115	112 008	112 608	118 493
formations écoles de commerce	50 668	83 176	88 437	87 333	95 835	100 609
vétérinaire, paramédical, social	92 643	126 464	133 647	133 221	136 521	136 410
Autres formations professionnelles	130 341	163 808	167 197	169 426	170 146	176 626
Total	2 179 434	2 269 797	2 283 267	2 253 832	2 231 495	2 231 745

Tableau 1 – effectifs étudiants dans l'enseignement supérieur de 1995 à 2008

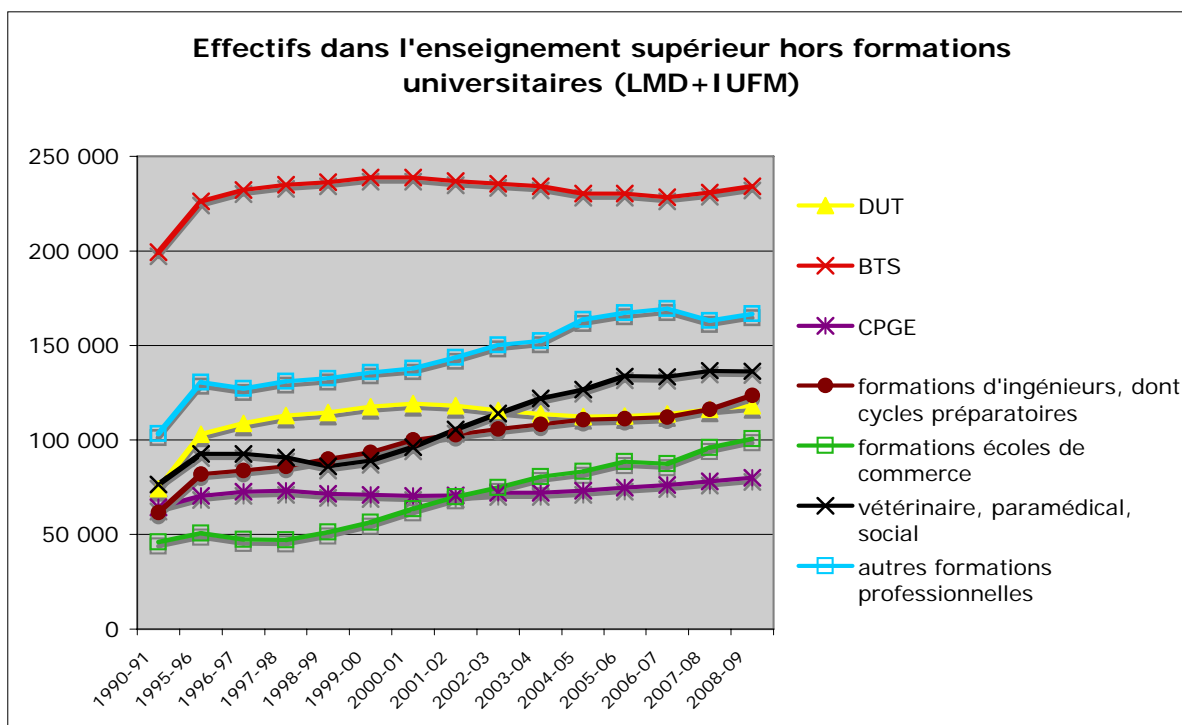
Entre les années 2004-2005 et 2008-2009, les effectifs étudiants dans l'enseignement supérieur ont été quasi stables (-1,7%) alors que les formations universitaires ont subi une baisse de 7,5%. A contrario, les formations commerciales ont augmenté dans le même temps de 21%, les CPGE de 7,2% et les formations d'ingénieurs de 5,1%. En absolu, les formations universitaires ont perdu plus de 100 000 étudiants, alors que les gains ont été de 8 000 pour les écoles d'ingénieurs, de 7 000 pour les CPGE, de 17 000 pour les écoles de commerce.

¹ Sources : notes DEPP, données SISE, RERS 2008, rapport Goulard.

Les graphiques qui suivent donnent une appréciation visuelle de ces chiffres. On a isolé les formations non universitaires dans un graphique spécifique pour mieux apprécier leurs évolutions.



Graphique 1 – effectifs étudiants dans l'enseignement supérieur de 1995 à 2008



Graphique 2 – effectifs étudiants dans l'enseignement supérieur de 1995 à 2008, hors formations universitaires

EFFECTIFS EN MATHEMATIQUES

Concernant les mathématiques, les données disponibles ne sont que partielles. Et la question des effectifs en cycle L est délicate dans la mesure où l'inscription d'un étudiant dans une licence de mathématiques se fait très rarement dès le L1. Ce qui fait que les chiffres dépendent beaucoup de la manière dont le LMD s'est déployé dans les universités. Néanmoins, les effectifs en L3 sont eux comparables d'une année à l'autre.

Par ailleurs, l'évolution des mathématiques ne peut être considérée indépendamment de celle des sciences. Les tableaux qui suivent nous donnent les éléments nécessaires.

Sciences	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007
L1	59187	57108	53526	51431	50849
L2	39916	39935	39294	37375	35137
L3	42624	42656	41775	40524	37819
LP	7712	9945	12889	15498	17216
M1	29719	30438	31204	31224	29658
M2	24373	25191	25004	27210	27688

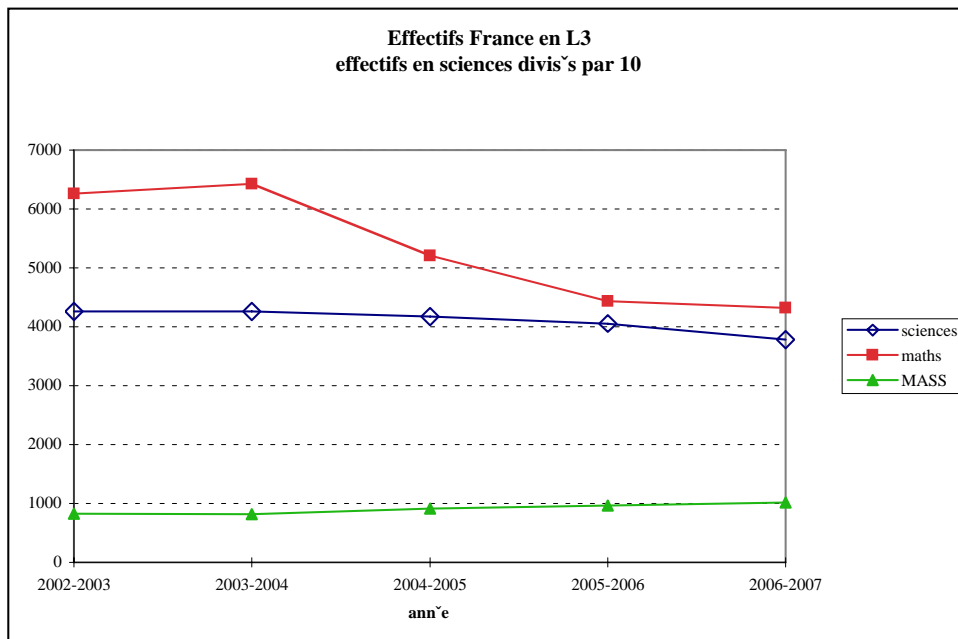
Maths	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007
L1	19 119	14 718	5 282	1 974	1 773
L2	11 374	10 973	5 385	2 912	2 978
L3	6 263	6 431	5 207	4 441	4 323
LP			86	86	20
M1	3 668	3 611	2 863	2 939	2 766
M2	2 129	2 056	1 891	2 007	2 117

MASS	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007
L1	3 869	3 382	2 639	1 413	1 495
L2	2 234	2 239	1 846	1 194	1 094
L3	829	814	916	968	1 019
LP					
M1	474	525	381	312	260
M2	63	34	99	219	240

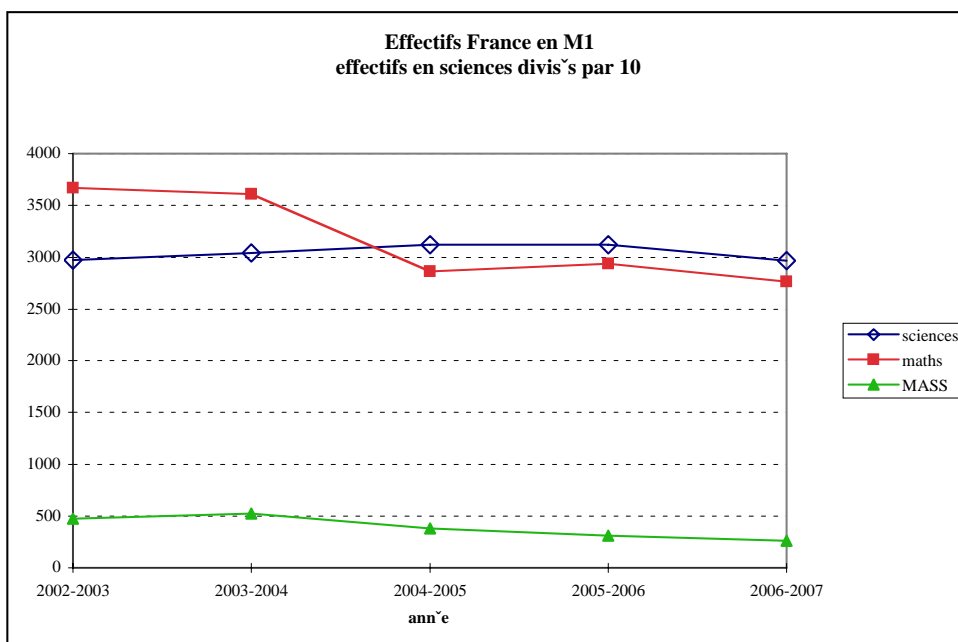
Tableaux 2 – évolution des effectifs LM en sciences, mathématiques, et MASS²

La classification en mathématiques et MASS est celle mise en place par la DEPP. Les données concernant les sciences sont considérées hors santé. Ces données se retrouvent sur les graphiques qui suivent (les effectifs en sciences ont été divisés par 10 pour mieux comparer les évolutions).

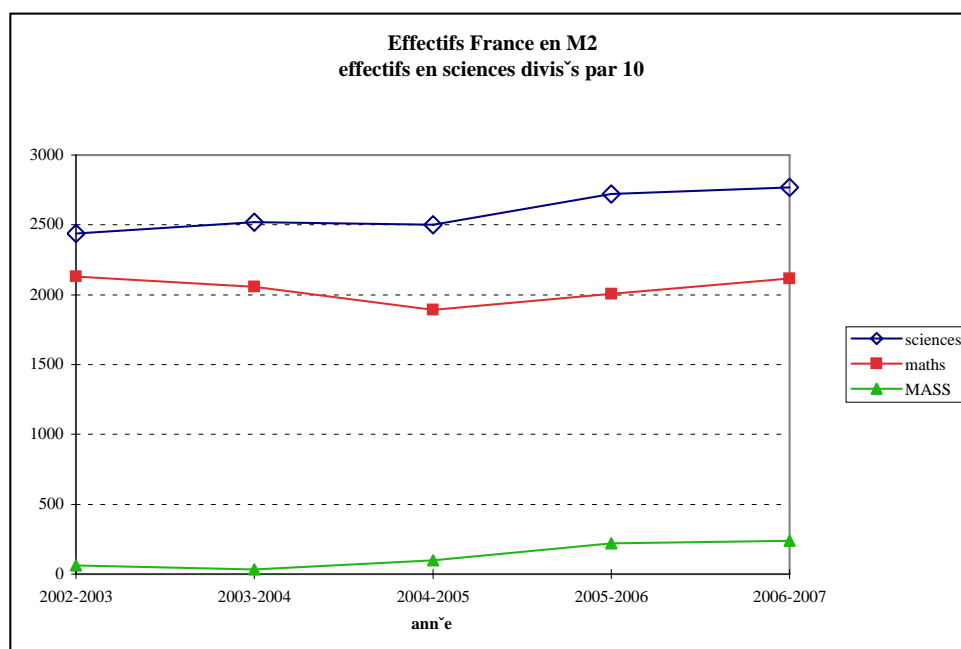
² LP signifie Licence Professionnelle, MASS signifie Mathématiques Appliquées et Sciences Sociales.



Graphique 3 - évolutions comparées des effectifs de L3 en sciences, maths, MASS



Graphique 4 - évolutions comparées des effectifs de M1 en sciences, maths, MASS



Graphique 5 - évolutions comparées des effectifs de M2 en sciences, maths, MASS

L'effet LMD sur les effectifs en M2 est évident, mais ne doit pas cacher la baisse en M1, fort préoccupante. On notera une « cassure » en 2004-2005, qui peut être expliquée partiellement par des problèmes de changements de classification au sein de la DEPP. L'évolution ultérieure, pour autant qu'on puisse l'évaluer, ne distingue pas vraiment les mathématiques au sein des sciences, si ce n'est que la filière MASS a un comportement assez différent, et plutôt encourageant, en particulier en L3 et M2.

LES BESOINS DE MATHÉMATIQUES DANS LES FORMATIONS D'INGÉNIEURS

On abordera plus loin ces questions de façon qualitative, mais nous restons pour l'instant aux aspects quantitatifs. Il est par exemple intéressant de noter qu'entre les années 2002-2003 et 2006-2007, les effectifs en écoles d'ingénieurs (hors cycle préparatoire) sont passés de 102 407 à 108 846, pour atteindre 114 427 en 2008-2009. Si l'on évalue qu'une part de 10% des 3 dernières années de formation d'un ingénieur est faite de mathématiques, cela signifie qu'il y a eu un **accroissement des besoins de formation en mathématiques** d'environ 600 étudiants jusqu'en 2006-2007 et **de 1 200 étudiants jusqu'en 2008-2009**.

Ces chiffres ne sont pas du tout négligeables si on les compare aux effectifs de mathématiques en L ou M. De plus, si l'on estime – estimation pessimiste au regard de la réalité – qu'on trouve en école d'ingénieurs un enseignant pour 15 étudiants, cela signifie que potentiellement sont apparus, ou auraient pu apparaître, entre 2002-2003 et 2008-2009 près de **80 enseignants-chercheurs** en mathématiques dans les formations d'ingénieurs.

Les quelques éléments regroupés ici montrent que des perspectives de développement importantes sont présentes pour les mathématiciens dans des formations qui sont à **l'interface entre les mathématiques et d'autres disciplines** (exemple des filières MASS), ou qui utilisent de façon plus ou moins importante des mathématiques. L'exemple des formations d'ingénieurs est sur ce point exemplaire car l'ingénieur « à la française » est formé sur une

base importante de mathématiques, mais on pourrait également citer presque toutes les autres formations professionnelles (management, santé...).

Terminons cette partie quantitative par quelques données relatives aux écoles d'ingénieurs.

LES ECOLES D'INGENIEURS

Effectifs par école et année	1990-1991	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008
Ecoles Ministère ESR	34 475	59 961	59 903	59 847	61 446
Ecoles publiques hors MESR	10 865	16 610	16 607	15 930	15 963
Ecoles privées	14 002	25 012	25 268	25 517	26 809
Total	59 342	101 583	101 778	101 294	104 218

Tableau 3 - effectifs dans les écoles d'ingénieurs (hors NFI) selon leur type

On peut noter que les effectifs dans les formations d'ingénieurs évoluent moins rapidement ici que dans les tableaux précédents ; cela est dû au fait que les formations d'ingénieurs en partenariat (formation initiale et formation continue), dites NFI, ne sont pas intégrées dans les chiffres qui précèdent.

Par ailleurs, l'idée selon laquelle **une formation d'ingénieur est basée sur une formation initiale réalisée dans une classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) est fortement niée par les faits**, comme le montre le tableau qui suit.

	CPGE	Bac	DUT-BTS	L ou M1	L2	autres
Pourcentage	46,3%	20,6%	13,4%	4,3%	2,8%	11,0%

Tableau 4 – origine des nouveaux inscrits en formations d'ingénieurs (2007-2008)

La forte proportion des étudiants classés « autres » est due à l'intégration d'étudiants formés et diplômés à l'étranger.

MATHEMATIQUES ET FORMATIONS D'INGENIEURS

Dans le contexte précédemment évoqué d'accroissement très sensible des effectifs en formation d'ingénieurs et de la diversité des publics accueillis, la question de la position des mathématiques dans ces formations se pose de façon essentielle, et ne peut pas être traitée de manière uniforme.

Nous ne traiterons pas ici de la question des formations d'ingénieurs mathématiciens, statisticiens, financiers, qui ressortent d'une problématique particulière qui pose notablement moins de questions, y compris pédagogiques. Car la place des mathématiques et des mathématiciens dans ces formations est évidente, et au premier ordre satisfaisante.

La question qui nous intéresse ici est celle de la formation des ingénieurs, de la place des mathématiques – et des mathématiciens – dans ces formations, et de l'impact sur l'activité professionnelle des diplômés et/ou de leur vision des mathématiques. Et les formations d'ingénieurs visées ici sont très diverses, allant du génie civil aux télécoms, en passant par le génie des procédés, l'informatique, l'aéronautique ou la mécanique. Toutes formations dans lesquelles la place des mathématiques est importante mais n'est pas pour autant centrale.

LES PROBLEMES POSES

La Commission des Titres d'Ingénieur (CTI) demande chaque jour davantage de compétences nouvelles à faire acquérir dans le cadre des formations d'ingénieurs : langues, travail en contexte international, considérations environnementales, éthique de l'ingénieur... ceci alors que la science et la technologie évoluent et se complexifient de jour en jour. Dans ces conditions, les programmes de formation d'ingénieurs ont tendance à se densifier de façon à permettre des ouvertures sur des champs nouveaux. On comprend donc que dans le cadre d'une formation d'ingénieurs non centrée sur les mathématiques, la question se pose de l'importance des mathématiques dans le cursus et de leur nature.

Avant de faire une tentative de typologie des mathématiques enseignées, examinons **deux situations extrêmes, caricaturales**, et pourtant rencontrées aujourd'hui dans les écoles (on parle ici plutôt de formation débutant à Bac+3).

Le village gaulois

Ici, les enseignements sont réalisés par **quelques collègues mathématiciens qui sont marginalisés par leur structure** et se battent quotidiennement pour défendre la position des maths dans la formation. Les collègues d'autres disciplines acceptent assez mal la position des mathématiciens, en considérant que ceux-ci sont déconnectés de la réalité. Les enseignements réalisés, pour l'essentiel en tronc commun, le sont autour de notions fondamentales : calcul intégral, distributions, analyse fonctionnelle, analyse complexe, analyse de Fourier, analyse numérique élémentaire et des EDP, probabilités... Une situation moins extrême est celle où l'on trouve une équipe de maths constituée – centrée sur une thématique de recherche – qui réalise les enseignements ressortant de sa spécialité, allant jusqu'à une option en fin de cycle, et gère le reste.

Les étudiants, mis à part un petit groupe, supportent mal les cours donnés, et **achèvent de se convaincre que lorsque l'on en aura fini avec les mathématiques on attaquera enfin les choses sérieuses**. Notons que cette opinion existe également vis-à-vis de la physique (e.g. physique quantique, thermodynamique, physique statistique...), et est renforcée par le discours des chefs d'entreprises et des intervenants de SHS (gestion, communication...) qui se glorifient de leur niveau lamentable en mathématiques. Les étudiants terminent leurs études en étant convaincus de l'inutilité des maths pour leur métier et surtout **ne sauront pas identifier** à l'avenir une situation dans laquelle une approche mathématique aurait pu être utilisée avec fruit.

L'ensemble vide

Dans ce cas, la question de la place des mathématiciens dans la formation a été traitée de manière drastique puisque **les enseignements de mathématiques sont réalisés par des collègues d'autres disciplines**, et peuvent aller jusqu'à être intégrés complètement dans d'autres enseignements (mécanique des structures ou des fluides, chimie et thermodynamique, traitement du signal...). C'est le cas de nombreuses écoles qui se targuent d'avoir un bon enseignement de maths pour l'ingénieur du fait de l'absence de personnel mathématicien !

Une telle situation fonctionne bien avec les étudiants issus d'IUT ou de BTS, mais le niveau conceptuel est faible, les maths sont vues comme une recette que l'on sort lorsqu'on en a besoin, et les mathématiciens sont absents du débat alors qu'il les concerne au premier chef. En situation professionnelle, les mathématiques maîtrisées par les diplômés – et leur niveau conceptuel – leur permettent difficilement de comprendre comment des mathématiques peuvent leur être utiles, alors qu'ils sont sans vraiment d'a priori sur ce point. Mais pour eux, **les mathématiques sont essentiellement une discipline qui fournit des formules au bon moment**.

Une variante de cette situation, beaucoup plus dangereuse pour les mathématiciens mais pas forcément pour les étudiants, est celle où des collègues d'autres disciplines réalisent des enseignements de mathématiques d'un bon niveau conceptuel, satisfaisant du point de vue de la formation d'ingénieur. Dans une telle configuration, remonter la pente risque d'être très difficile.

Entre ces deux extrêmes, nous sommes convaincus que des voies alternatives sont envisageables – et on en observe sur le terrain –, mais pour les décrire nous allons tenter maintenant de classer les mathématiques selon leur position dans les formations d'ingénieurs.

VERS UNE TYPOLOGIE DES MATHÉMATIQUES DANS LES FORMATIONS D'INGÉNIEURS

On distinguera ici trois catégories, énumérées en partant de la fin du cycle de formation.

Les mathématiques spécifiques

Ce sont les mathématiques qui sont enseignées dans la spécialité de la formation, ou l'option dans le cas d'une formation généraliste. Très souvent, ces mathématiques ne sont pas enseignées par des mathématiciens, alors qu'elles atteignent rapidement un niveau conséquent. Citons deux exemples :

- Mécanique : calcul tensoriel, analyse fonctionnelle et numérique des EDP, méthodes de différences finies, d'éléments finis, de volumes finis...
- Télécoms : mathématiques des signaux, filtrage et contrôle, réseaux et files d'attente, théorie de l'information, codage...

Très souvent des enseignements font difficilement la part entre les mathématiques et la discipline sur laquelle elles s'appliquent. C'est le cas évidemment en mécanique des structures ou des fluides, mais aussi en traitement du signal, pour reprendre les deux exemples qui précèdent.

Les mathématiques appartenant aux Méthodes Générales de l'Ingénieur (MGI)

Les Méthodes Générales de l'Ingénieur constituent le point commun des formations d'ingénieurs françaises. Elles sont constituées de trois volets.

- Un volet « méthodes scientifiques du génie industriel », sur lequel nous allons revenir en détail.
- Un volet management et sciences humaines, qui permet à l'ingénieur formé de s'intégrer dans le milieu professionnel avec efficacité. On retrouve ici la gestion, l'économie, la comptabilité, le droit, la communication...
- Un volet ouverture et développement personnel. On parle là de toutes les activités d'ouverture, sur le monde économique (stages, projets), au niveau international (langues, cultures étrangères), voire sur des aspects transverses comme l'éthique ou le développement durable.

Les **méthodes scientifiques du génie industriel** regroupent un ensemble de notions scientifiques dont la portée est très large, et traverse le futur secteur d'activité du diplômés.

On y retrouve de très nombreuses notions d'**informatique**, manipulation de logiciels standards, structures de données, algorithmique, bases de données, programmation sous toutes ses formes allant jusqu'aux langages à objets ou à la programmation fonctionnelle... Tout ceci sans oublier quelques notions sur les systèmes d'information.

Coté **mathématiques**, de nombreux domaines sont concernés et mériteraient d'être mieux identifiés. On citera les mathématiques de la modélisation numérique, les probabilités et les statistiques, l'optimisation, la recherche opérationnelle, ...

Les mathématiques générales

On y retrouve les mathématiques sur lesquelles l'ensemble du cursus va s'appuyer : algèbre générale, algèbre linéaire, analyse générale, fonctions de plusieurs variables, calcul différentiel, intégration, équations différentielles ...

Les objectifs assignés à ces enseignements sont, outre ce qui vient d'être énoncé, de permettre une formation au raisonnement, à la rigueur, à l'appréhension de problèmes complexes par une explicitation des présupposés (les axiomes), à la formulation de questions... Ces derniers points nécessitent du temps et impliquent de focaliser la formation sur la compréhension profonde de principes et non à l'acquisition persistante de recettes. En d'autres termes, des choix sur les programmes doivent sans doute s'opérer, afin que le temps nécessaire à une construction de réelles compétences soit au rendez-vous.

On peut noter que ces objectifs placés à un niveau méta par rapport à l'apprentissage mathématique, sont assignés aux mathématiques générales. Mais ils le sont également – bien entendu – pour les mathématiques des MGI et les mathématiques spécifiques, dans des conditions d'ailleurs souvent plus faciles.

On comprend à la lecture des lignes qui précèdent que le besoin en mathématiques, et donc en mathématiciens, dans les écoles d'ingénieur est important mais pour aller plus loin, il nous semble qu'un certain nombre d'orientations doivent être prises.

QUELQUES PROPOSITIONS

Les deux postures que nous avons décrites ci avant – du village gaulois à l'ensemble vide – se distinguent par la manière dont elles sont conçues : flux poussé par les connaissances pour le village gaulois, flux tiré par les applications pour l'ensemble vide.

On notera par ailleurs que la population étudiante présente dans les formations d'ingénieurs a beaucoup évolué au cours des quinze dernières années (cf. données liminaires), mais on n'oubliera pas qu'elle est également sujette à trois phénomènes :

- la culture du zapping, qui rend l'effort dans la durée plus difficile,
- le fait que les étudiants ne nous croient plus sur parole et qu'il faut leur prouver que ce que nous faisons est bon pour eux,
- la montée en puissance de la part des entreprises d'une demande d'ingénieurs opérationnels immédiatement (les fameux « débutants avec expérience professionnelle » !).

De fait, les étudiants n'acceptent d'aborder des disciplines perçues comme arides que s'ils sont convaincus de leur pertinence. En conséquence il nous semble que le flux doit être largement tiré mais que **la conception doit être réalisée par des mathématiciens, avec la participation de collègues d'autres disciplines.**

Sur quelles questions se concentrer ?

Au regard de la typologie énoncée, il nous semble que **les progrès les plus importants doivent être réalisés au niveau des mathématiques pour les MGI**, qui devraient être enseignées à tout ingénieur. Car il y a sur ce sujet deux types d'enjeux. Un enjeu socio-économique dans la mesure où la bonne **maîtrise** de la part des diplômés de ces aspects constitue un plus en termes de compétences d'ingénieur³, mais également un enjeu pour les

³ Rappelons que cela concerne a priori l'ensemble des ingénieurs formés, à comparer au flux annuel d'ingénieurs diplômés qui est proche des 30 000.

mathématiciens au sens où cela doit leur permettre de mieux prendre position dans ces formations en contribuant positivement à l'ensemble du dispositif.

Evidemment, compte tenu des contraintes lourdes présentes dans les formations d'ingénieurs, cela implique qu'il faut accepter de réfléchir dans des enveloppes horaires éventuellement restreintes. Et il faut en tout état de cause **revisiter fondamentalement les objectifs et la pédagogie des enseignements**. Il est par exemple inenvisageable qu'un cours de statistiques de tronc commun ne mène à aucune manipulation de données réelles, ou à tout le moins à la confrontation avec des problèmes rencontrés par les ingénieurs en début de carrière, car l'interrogation sur le lien entre le réel et le modèle doit constituer un objectif central de ces mathématiques pour les MGI. A l'autre extrême (donc plutôt du côté de l'ensemble vide), les seules manipulations de logiciels sont pas plus souhaitables.

Un état d'esprit à faire évoluer

Les mathématiciens doivent donc prendre en compte les contraintes des responsables de formations d'ingénieurs pour formuler des propositions, de manière à **construire la confiance**, gage d'engagement et de durée. Dans un tel climat, des mathématiciens peuvent/doivent intervenir dans des cours de disciplines différentes.

Tout ceci nécessite de la part des collègues mathématiciens une réelle remise en cause et une ouverture sur les besoins, en prenant pleinement en compte les demandes explicites ou implicites exprimées par l'aval⁴.

La question de la recherche

Cette question est cruciale et met en jeu à la fois la nature de la recherche menée dans les écoles d'ingénieurs, et la relation avec les équipes universitaires. Et d'évidence, l'évolution nécessaire de l'état d'esprit des mathématiciens évoquée précédemment doit avoir des conséquences sur leur recherche. Mais cet aspect des choses nécessite d'être traité indépendamment, car les enjeux dépassent ceux de la formation des ingénieurs, qui occupent ce document.

Comment avancer ?

Les lignes précédentes peuvent sembler proches de l'incantation et donc éloignées des réalités du terrain. Par exemple, un collègue peut se retrouver assez dépourvu, et isolé, lorsqu'il cherche à faire évoluer sa pratique.

Les travaux réalisés par les sociétés savantes de mathématiques (SFdS, SMAI, et SMF), par exemple dans le cadre de la sous-commission "Enseignement des mathématiques dans les écoles d'ingénieurs" de la SMAI (Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles) pourraient être étendus à la fois sur les aspects de programme (que faut-il enseigner ?) mais aussi et surtout sur les aspects de pédagogie et de méthode. On entend par là des propositions de méthodes pédagogiques adaptées – de type pédagogies actives –, de nature informelle ou plus formalisées (apprentissage par problème, apprentissage par projets... : voir les exemples notables des universités de Louvain et de Sherbrooke). Mais le travail pourrait également consister en un recueil d'expériences qui ont permis ou permettent de progresser : collaborations avec des collègues d'autres disciplines, suivi de stages d'ingénieurs, conception de projets...

⁴ Evidemment, prise en compte ne signifie pas pour autant approbation automatique.