

A l'Ecole nationale supérieure d'hydraulique et de mécanique de Grenoble : une formation avancée en hydraulique, ouverte sur l'Europe

Félix Darve et Michel Favre-Marinet

Dans l'ensemble du dispositif français de formation supérieure, les Ecoles d'Ingénieurs ont toujours su maintenir des relations étroites avec le monde industriel et accompagner (et parfois anticiper sur) l'évolution des sciences et des techniques. Aujourd'hui, il est banal de relever que les qualités techniques et humaines des ingénieurs d'une entreprise représentent l'un des facteurs cruciaux de sa compétitivité. Dans ce contexte, une réflexion permanente (menant à une évolution continue des structures pédagogiques et des programmes d'enseignement) est à mener au sein des Ecoles, pour sans cesse améliorer l'adéquation entre la formation donnée et les besoins des entreprises — l'idéal étant naturellement d'anticiper sur ces besoins pour que les jeunes ingénieurs recrutés puissent irriguer l'entreprise avec les nouvelles méthodes et outils disponibles.

Mettant l'accent sur cette nécessaire anticipation, ce Colloque est ainsi particulièrement le bienvenu et, plutôt que de développer quelques idées générales dans l'abstrait, nous avons fait le choix de les illustrer à travers l'exemple de notre Ecole.

Pour nous, l'ingénieur hydraulicien de l'an 2000 devra :

(i) être parfaitement formé aux techniques informatiques et aux méthodes numériques, qui permettent aujourd'hui de plus en plus une modélisation fiable et précise des principaux processus de la mécanique des fluides et des solides (même si toute la complexité des situations rencontrées au plan industriel n'est souvent pas encore prise en compte).

(ii) maîtriser les mécanismes physiques fondamentaux qui président à l'équilibre, au mouvement des fluides et à la déformation des matériaux en hydraulique. Ceci passe nécessairement par le développement de stations d'essais technologiques, bien instrumentées,

(iii) être, de manière naturelle, ouvert sur l'Europe et ceci implique qu'il ait pu vivre, durant sa scolarité, une expérience de formation européenne, de quelques mois au moins, au sein d'une entreprise ou d'une université.

Ces trois axes font l'objet, depuis quelques années, d'un certain nombre d'initiatives au sein de l'ENSHMG. Ce sont ces initiatives que nous allons maintenant vous présenter.

1. La formation en modélisation numérique en hydraulique

Les ingénieurs hydrauliciens sont de plus en plus souvent amenés au cours de leur carrière à utiliser, de près ou de loin des codes de calculs ou éventuellement à participer à leur élaboration dans les domaines de l'hydraulique, de la mécanique des fluides, de la thermique ou des structures, et la formation à l'ENSHMG fait une place importante à la modélisation numérique dans ces domaines.

Les objectifs de cette formation sont principalement :

- apprendre les méthodes numériques de base et les méthodes spécifiques de l'hydraulique, de la mécanique des fluides et de la mécanique des solides ;
- apprendre à utiliser de façon non aveugle et si possible critique, les codes existants.

Certains élèves-ingénieurs sont confrontés très tôt aux problèmes de modélisation numérique au sein d'une activité pédagogique originale, dont le titre « Entreprendre » veut signifier que les élèves sont invités à quitter le cadre souvent trop scolaire des enseignements et à faire preuve d'initiatives et d'imagination sur une étude proposée par un enseignant ou un chercheur de l'école.

Une demi-journée par semaine est consacrée à cette activité et c'est ainsi que des groupes d'élèves ont participé au cours des deux dernières années au développement de logiciels d'aide à la mesure de débits de rivière par exploration du champ de vitesse ou encore au calcul d'un écoulement autour d'une plaque plane en incidence dans la « soufflerie numérique » de l'Institut de Mécanique de Grenoble.

L'apprentissage de méthodes numériques et l'utilisation de micro-ordinateurs, puis d'un réseau de mini-ordinateurs sont au programme des deux premières années à l'école. Les méthodes numériques appliquées aux équations différentielles ordinaires ou aux dérivées partielles font l'objet d'un cours approfondi de deuxième année et de travaux en groupe sur des problèmes tels que le calcul d'une courbe de remous, le calcul du développement des couches limites ou la résolution des équations de Navier-Stokes en mode

elliptique. Les méthodes de calcul en mécanique des solides sont enseignées également en deuxième année avec un accent particulier sur la méthode des éléments finis. Les élèves utilisent un code pour le calcul d'ouvrages et de structures lors d'un mini-projet qui demande une vingtaine d'heures de travail.

La modélisation numérique s'est introduite peu à peu dans les cours plus spécialisés des filières.

Citons par exemple :

— la modélisation des échanges de chaleur en convection turbulente avec utilisation du code de calcul TEACH pour les élèves de Mécanique des fluides industriels. L'utilisation du code pour les écoulements simples en régime laminaire permet des comparaisons avec les résultats classiques enseignés en cours ;

— la modélisation conceptuelle en hydrologie pour la filière Ressources en eau et aménagements.

La simulation porte sur les écoulements souterrains et leurs connexions avec la surface (infiltrations — échanges

nappe-rivière). Une manipulation de travaux pratiques associe l'utilisation d'un logiciel et une analogie électrique pour l'étude des écoulements en milieu poreux (infiltrations sur un barrage).

— l'utilisation de codes d'éléments finis en Géotechnique et structures (calcul des barrages) pour la filière Génie hydraulique et ouvrages. Une approche non linéaire des éléments finis vient compléter la formation ;

— le calcul d'écoulements à surface libre en régime non permanent (simulation des crues) pour les filières GHO et REA.

Il est important, bien entendu, de trouver un équilibre entre cette formation tournée vers le numérique et l'enseignement des disciplines de bases qui donnent les concepts fondamentaux de la modélisation physique.

Le manque de sens critique vis-à-vis des résultats des modélisations numériques est encore trop largement répandu parmi nos élèves et une démarche qui associe étroitement les calculs numériques et l'expérimentation physique est à privilégier autant que possible.

2. Plate-formes technologiques et expérimentation physique

L'expérimentation physique a depuis longtemps été considérée comme indispensable à la formation des ingénieurs de l'ENSHMG, et un parc d'installation de travaux pratiques tout à fait considérable (surface occupée : 2 500 m²) permet aux élèves-ingénieurs de faire des expérimentations d'hydraulique, de mécanique des fluides, des solides ou de thermique. Pour prendre en compte l'évolution des techniques, ces installations ont été modernisées progressivement et des plate-formes technologiques en situation industrielle et en semi-vraie grandeur ont été ou seront mises en place.

Certaines installations de travaux pratiques ont ainsi été équipées de capteurs modernes (capteurs de pression, par exemple). L'outil informatique transforme radicalement l'expérimentation physique moderne et cette évolution est prise en compte dans la formation pratique des ingénieurs-hydrauliciens ; là aussi, un compromis est à trouver entre l'utilisation aveugle de moyens informatiques forcément lourds à mettre en place et difficilement gérables directement par les élèves et des tâches trop répétitives, lors de séances de mesures : les principes physiques de l'expérimentation, des moyens de mesures, les sources d'erreur ne doivent pas être perdus de vue pendant les expérimentations. L'informatisation des installations de travaux pratiques porte sur l'acquisition et le traitement de données effectués sur micro-ordinateurs. Citons par exemple, l'acquisition de températures pour l'étude de la conduction en régime instationnaire ou l'étude des échangeurs de chaleur, les mesures de vitesses et les calculs de spectres de turbulence pour l'étude de l'écoulement derrière un cylindre, le traitement de données météorologiques...

La technologie est une composante importante de la formation des ingénieurs hydrauliciens et les élèves peuvent s'initier au dessin assisté par ordinateur lors de leurs activités de bureau d'études.

Le souci de placer les élèves dans des situations de type industriel pour effectuer des expérimentations, a conduit l'Ecole à utiliser ou à développer des plates-formes technologiques à une échelle proche de celle que les futurs ingénieurs rencontreront dans leur vie professionnelle.

Ainsi, les élèves de troisième année des filières Ressources en eau et aménagements et Génie hydraulique et ouvrages étudient les problèmes d'érosion et leur incidence sur la stabilité sur un modèle réduit de barrage dans les laboratoires de SOGREAH. C'est ce modèle réduit qui a servi au projet des ingénieurs de ce bureau d'études avant la construction du barrage.

Dans un autre domaine, une boucle hydraulique pour l'étude des turbines a été mise en place récemment avec le soutien d'EDF dans les laboratoires du Centre de recherches et d'essais sur les machines hydrauliques à Grenoble (CREMHyG), où sont effectuées des recherches sur les moteurs de la fusée ARIANE. Une première étape a vu la réalisation de ce banc en 88-89 et les élèves de troisième année ont pu déterminer les collines de rendement, étudier l'apparition de la cavitation... Les problèmes d'asservissement devraient être pris en compte dans une deuxième étape et rapprocher encore ce banc d'une installation réelle.

L'hydraulique de puissance est étudiée dans un laboratoire de l'Ecole où l'on trouve une presse hydraulique de 5 tonnes, asservie en position ou en effort pour des essais mécaniques, un banc d'essai pour l'étude des servovalves.

Un banc de simulation enfin, donne la possibilité d'étudier différents types de circuits hydrauliques.

De nouvelles plate-formes technologiques (station hydrométrique sur les berges de l'Isère avec mesures hydrométriques en vraie grandeur, presse triaxiale pour l'étude du comportement des géomatériaux) sont en projet.

Bien entendu, les stages et projets de fin d'études sont l'occasion pour les élèves-ingénieurs d'une immersion dans les entreprises où, pendant quelques mois, ils sont confrontés aux problèmes de leur future vie professionnelle.

Citons enfin l'expérience de quelques groupes d'élèves de première année qui lors de l'activité « Entreprendre » ont été au contact d'installations de type industriel. Un groupe a participé à l'expérimentation sur une coulée d'étain horizontale en lévitation électromagnétique au laboratoire MADYLAM (Magnétodynamique des liquides. Applications à la Métallurgie). Un autre groupe a étudié la mise en similitude sur modèle physique d'un écoulement océanique à l'Institut de mécanique de Grenoble sur la plate-forme CORIOLIS.

3. Echanges européens

Le développement des échanges internationaux dans la formation des ingénieurs est une priorité de l'ENSHMG comme des autres écoles de l'INPG. L'objectif affiché par l'INPG est un quota d'au moins 30 % d'élèves-ingénieurs qui aient passé au minimum trois mois à l'étranger (et de préférence dans un pays européen) durant leur scolarité. Sans que ce but soit atteint, les échanges internationaux sont en net progrès depuis quelques années à l'ENSHMG.

Pendant l'année scolaire 1990-1991, sept élèves hydrauliciens (sur une promotion de 77) vont effectuer leur troisième année d'école dans une université étrangère. A cela, il faut ajouter les séjours plus courts (stages et projets). Au total, ce sont 19 élèves qui ont choisi de se confronter à un autre pays, que ce soit en Europe (Italie, Suisse, Hollande, RFA, Grande-Bretagne, Irlande) en Afrique (Sénégal, Gabon, Burkina-Faso), en Amérique du Nord (Canada, USA) ou en Australie.

Le succès de tels échanges internationaux est rendu possible par la conjonction de divers facteurs :

- l'existence d'un réseau de relations avec les universités étrangères ;
- un soutien financier provenant des organismes européens, ou de la région. L'Ecole participe également au financement des voyages à l'étranger sur ses ressources propres ;
- une politique de communication au sein de l'Ecole et de l'INPG pour informer les élèves sur les possibilités d'échanges, les cursus universitaires, les bourses, etc... Des cellules communication-relations extérieures ont été chargées à l'ENSHMG et à l'INPG de mener à bien cette politique.

Ce développement des échanges avec l'étranger s'appuie en particulier sur les laboratoires de recherche liés à l'ENSHMG et sur le département des relations internationales à l'INPG. Les enseignants de l'école, les chercheurs qui enseignent à l'école ont depuis longtemps noué des contacts avec les Universités ou les grands organismes étrangers et les élèves peuvent s'insérer sans difficultés dans ce réseau de relations internationales à l'occasion d'un

stage qui se situe entre la 2^e et la 3^e année à l'école ou d'un projet de fin d'études de 3 mois qui intervient lors de la dernière année.

Pour ce qui concerne les échanges plus spécifiquement européens, l'INPG est associé à huit autres Universités de Technologie de grand renom, au sein du réseau CLUSTER (Coopérative Link between Universities of Science and Technology for Education and Research) :

- Eindhoven University of Technology (Pays-Bas).
- Imperial College, Londres (Royaume-Uni).
- Politecnico di Torino (Italie).
- Royal Institute of Technology Stockholm (Suède).
- Technische Universität Darmstadt (Allemagne).
- Trinity College Dublin (Irlande).
- Technische Universität Karlsruhe (Allemagne).
- Université Catholique de Louvain la Neuve (Belgique).

Echanges d'étudiants, d'enseignants, de programmes sont amenés à se développer grâce à ce réseau dans les années à venir.

L'hydraulique, la mécanique des fluides et la mécanique sont bien représentées au sein de CLUSTER et c'est ainsi que trois élèves vont effectuer leur 3^e année au Politecnico de Torino, au Trinity College de Dublin et à l'Imperial College en 90-91. Des accords de coopération ont été signés directement avec d'autres établissements tels que la T.U. de BRAUNSCHWEIG (RFA) et dès cette année, deux élèves vont compléter leur formation dans le domaine de la mécanique des fluides et de l'aérodynamique par un an dans cette université.

Cette année également, les responsables des filières Ressources en eau et aménagements et Génie hydraulique et ouvrages ont associé leurs homologues allemands de l'université de BRAUNSCHWEIG et leurs élèves au voyage d'études annuel d'une semaine destiné aux élèves de leurs filières. Au cours du voyage qui a réuni une quarantaine d'étudiants français et une trentaine d'étudiants allemands, ont été abordés les thèmes suivants :

- grands aménagements,
- génie civil,
- protection contre crues et inondations,
- réseaux hydrauliques, génie urbain et organes hydrauliques,
- ressources en eau potable et protection contre les risques,

et ces thèmes ont été illustrés par des visites d'aménagements et d'installations en Allemagne, en Suisse et en France.

L'école accueille aussi pour un an des stagiaires qui suivent un programme à la carte correspondant à leurs besoins de formation. Par ailleurs, l'année spéciale ouverte aux titulaires d'un diplôme d'ingénieur intéresse plus particulièrement les pays arabes, africains ou d'Amérique du Sud. Chaque année une douzaine d'ingénieurs provenant de ces pays viennent suivre les cours de 3^e année d'une des trois filières de la section hydraulique.

Citons enfin, le début des échanges avec les pays de l'Est dans le cadre du programme TEMPUS. Plusieurs missions ont amené des enseignants de Hongrie, Tchécoslovaquie, Pologne... à visiter l'école et à jeter les bases d'une future collaboration.

Les élèves-ingénieurs hydrauliciens qui ont choisi de passer leur troisième année à l'étranger, considèrent cette possibilité comme une véritable chance qui leur est offerte, malgré les difficultés rencontrées.

Le souci de se perfectionner dans une langue étrangère, la nécessité d'une confrontation avec un autre système éducatif, la conviction que leur avenir professionnel sera nécessairement au contact des autres pays européens, et même le sentiment d'appartenir à une entité européenne, telles sont les motivations affichées par ces élèves de l'ENSHMG. Ce pourraient être aussi les objectifs de la formation de l'ingénieur hydraulicien de l'an 2000.