

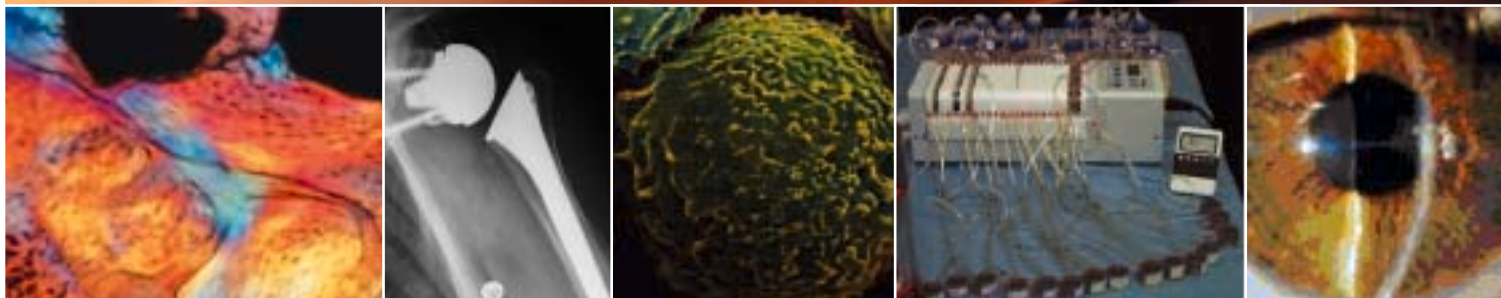
Ingénierie et Santé

Le 6^{ème} centre de l'École des mines de Saint-Etienne

**UNE RECHERCHE
DE HAUT NIVEAU SCIENTIFIQUE**

8 FILIÈRES DE FORMATION

**LES PARTENAIRES
DU PROJET TÉMOIGNENT**



SPÉCIAL CIS

**Au carrefour des sciences pour
l'ingénieur et de la santé** 3

**« Sortir de la biologie
des éprouvettes »** 4

**Des produits encore mieux
adaptés aux patients** 5

FORMATION

**8 filières accueilleront
200 étudiants** 6

**« Des champs de compétences
distincts, mais tous
indispensables »** 6

**Des partenaires déjà habitués
à travailler ensemble** 7

RECHERCHE

**Une recherche de haut
niveau scientifique** 8

**« J'ai appris à décoder
ce qu'il est important
de connaître »** 9

**Tissus osseux : de nombreuses
occasions de travailler
avec les ingénieurs** 10

**« L'assemblage des compétences
est une nécessité »** 11

**L'importance de la
recherche clinique** 11

RESSORTS

Une publication de
**l'École Nationale Supérieure
des Mines de Saint-Etienne**
www.emse.fr

Directeur de la publication:
Robert Germinet

Conception, rédaction
et réalisation: ADH
www.adh-presse.com

Ont collaboré à ce numéro : Didier
Bernache, Bernard Forest, Bernard Guilhot,
Jean-Charles Pinoli et Michel Soustelle.

Crédit photos

Couverture : Implants Industrie, Daculsi G.

©Inserm ; 2 : Inserm ; 4 : CNRS ; 5 : Ch. Bruchet ;
7 : Faculté de Médecine de Saint-Étienne ; 9 :
Philips ; 10 : Daculsi G. © Inserm ; 10 : CHU de
Saint-Étienne ; couv., 3, 6, 8, 9, 10, 11 : DR.

Numéro CPPAP : en cours

Trois mérites

La création du Centre Ingénierie et Santé par l'ENSM-SE constitue l'une des réponses possibles aux questions actuelles sur la réforme de la recherche, questions auxquelles l'INSERM réfléchit avec les grandes écoles comme avec les universités. Ma conviction est que l'une des voies de cette réforme passe par l'engagement des grandes écoles dans la recherche biomédicale.



Christian Bréchet

Directeur général de l'INSERM.

Cet engagement, essentiel, reste pour l'instant insuffisant. Le métier d'ingénieur est sous-estimé dans la recherche biomédicale. Il faut l'associer à une recherche de très haut niveau et pour cela ouvrir aux ingénieurs la formation à la recherche biomédicale. C'est ce que nous faisons depuis quelques années à l'INSERM au sein de nos laboratoires. Une partie de nos chercheurs sont en fait des chercheurs ingénieurs - ou si l'on préfère des ingénieurs chercheurs. Il faut poursuivre et amplifier ce mouvement, et même aller vers une simplification des corps et des grades en apparentant certains chargés de

recherches et certains ingénieurs. La création du Centre Ingénierie et Santé s'inscrit dans cette logique, qui doit permettre à la formation des ingénieurs de recherche de s'appuyer sur les grandes écoles.

Un autre mérite du CIS est de souligner la nécessité de programmes de recherches interdisciplinaires. Tout le monde parle d'interdisciplinarité, tout le monde la souhaite, mais elle est très difficile à mettre en œuvre concrètement. Il n'est jamais aisé de faire parler entre eux des mathématiciens, des physiciens et des biologistes, simplement parce qu'ils en ont peu l'habitude. Nous devons donc être capables de provoquer des rencontres. A cette condition, je suis tout à fait optimiste quant à leur capacité de surmonter leurs différences culturelles.

Enfin, l'initiative stéphanoise répond à une autre nécessité : mener à bien des programmes de recherches suppose qu'ils s'appuient sur des pôles régionaux atteignant une certaine masse critique, c'est-à-dire provoquant un « effet de site », et ceci dans le cadre d'un partenariat public-privé. L'action peut alors s'instituer dans un institut fédératif de recherche, qui relève de programmes ministériels. C'est le moyen de fédérer et de structurer les efforts de tous.

Je vois donc trois grands mérites au projet CIS : un, il s'inscrit dans nos axes de formation et d'échanges entre différentes filières ; deux, il permettra d'associer concrètement des personnes de formations diverses au sein de programmes de recherche ; trois, sa conception est un modèle de partenariat public-privé avec implication des collectivités territoriales au sein d'une région.

Au carrefour des sciences pour l'ingénieur et de la santé

Créé par l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne, le Centre Ingénierie et Santé voit le jour au milieu d'un environnement industriel, scientifique et universitaire propice. Sa mission : décloisonner les savoirs pour mettre les sciences de l'ingénieur au service de la santé.

Si la médecine a réalisé de formidables progrès ces dernières années, elle le doit largement à des moyens nouveaux d'exploration, de diagnostic, d'interprétation et d'intervention dans le corps humain. Ces moyens s'appuient sur des technologies de pointe dans les domaines des biomatériaux, de l'imagerie, de la robotique, et bien d'autres encore; ils mobilisent des compétences scientifiques et techniques sans cesse plus étendues. La santé est donc désormais un domaine interdisciplinaire, qui fera de plus en plus appel aux ingénieurs pour concevoir, perfectionner et utiliser de nouvelles méthodes et de nouveaux outils. Secteur industriel majeur, aux enjeux à la fois économique, humain et sociétal, la santé a donc besoin de nouvelles filières de formation et d'axes de recherches encore inexplorés au carrefour de la santé et des sciences de l'ingénieur.

Partant de ce constat, l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne avait proposé en janvier 2003 la création d'un sixième centre de formation et de recherche, dédié à l'ingénierie et la santé. Le CIADT (comité interministériel d'aménagement et de développement du territoire) du 26 mai suivant a donné un avis favorable à la création du CIS, le Centre Ingénierie et Santé.

Saint-Étienne était particulièrement qualifiée pour accueillir ce centre. Avec 20% de l'activité nationale et 66 000 emplois, dont 21 000 emplois industriels, Rhône-Alpes est en effet la seconde région française pour le secteur de la santé. Pas moins de 450 entreprises du secteur y sont implantées, dont de grands

groupes comme Aventis-Pasteur, bioMérieux, Merck, Merial ou Rhodia ; on y dénombre en outre 36 000 emplois hospitaliers et 9 000 dans les laboratoires de recherche. La région lyonnaise est particulièrement en pointe dans la

et 190 millions d'euros de chiffre d'affaires annuel, c'est tout simplement la première concentration européenne en la matière. Plus généralement, la ville et ses environs développent une importante activité liée aux biomatériaux (pro-



Avec 20% de l'activité nationale dans le secteur de la santé, Saint-Étienne était particulièrement qualifiée pour accueillir ce centre.

pharmacie, les diagnostics in vitro et les biotechnologies, Grenoble et ses environs dans les relations entre microélectronique et santé.

Croiser des disciplines différentes

Quant à Saint-Étienne Métropole, elle assure à elle seule 30% de cette activité régionale. Elle bénéficie d'une tradition d'excellence solidement établie dans les industries de la santé, notamment dans le domaine des textiles. Avec 1 300 emplois

thèses, notamment articulaires) grâce à de nombreuses PME-PMI, de même qu'à l'équipement médical et hospitalier. Cet ensemble de spécialités liées à la santé est attesté par la présence du Pôle des Technologies Médicales, qui réunit industriels, chercheurs, enseignants et praticiens.

L'environnement scientifique et universitaire est favorable au développement de filières biomédicales avec des équipes spécialisées au CHU, à la Faculté de Médecine, à l'École nationale



►►► supérieure des mines ou encore au Pôle Optique et Vision, un autre des quatre pôles de l'agglomération stéphanoise. Tout cet environnement va permettre au CIS de développer ses activités de formation et de recherche au service des industries de la santé en liaison avec de nombreux partenaires académiques et industriels. S'interdisant l'autarcie, il s'ouvrira au contraire très largement en menant des programmes de recherche en commun avec des équipes relevant d'autres domaines de compétences (sciences de l'ingénieur, sciences et technologies de l'information et de la communication, et naturellement sciences biologiques et médicales). Il multipliera ainsi les occasions de croiser des disciplines différentes et fera travailler ensemble des pro-

fessionnels et des chercheurs qui n'en ont pas l'habitude.

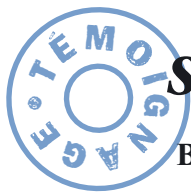
Dans le futur CHU Nord

A court terme est d'ailleurs prévue la constitution d'un Institut Fédératif de Recherche (IFR) associant l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne (non seulement le CIS, mais aussi ses deux unités mixtes de recherche CNRS), l'Université Jean Monnet (équipes de recherche des facultés de Sciences et de Médecine), le CHU de l'agglomération stéphanoise, le CNRS et l'INSERM. Cet institut travaillera en étroite collaboration avec le Pôle des Technologies Médicales. Son rôle sera d'inciter les équipes du CNRS et de l'INSERM existantes à mener

en commun des programmes de recherche vers des applications médicales utilisant les techniques de l'ingénieur et les techniques médicales.

Le CIS va connaître un démarrage progressif à l'ENSM-SE qui lui permettra de débiter sa mission dès la rentrée prochaine par redéploiement interne. Ses moyens matériels et humains seront ensuite adaptés à sa montée en puissance, qui devrait s'achever en 2011. Il devrait alors être fort de 70 permanents, constitués pour moitié d'enseignants chercheurs et pour moitié d'ingénieurs, techniciens et administratifs. Il est prévu d'accueillir en permanence 200 élèves répartis en 8 filières de formation et de recherche. Son budget annuel global est estimé à 4,5 millions d'euros (valeur 2004).

Si l'ouverture du CIS est prévue



Sortir de la « biologie des éprouvettes »

Bernard Pau, directeur du département des Sciences de la Vie au CNRS

Nous nous trouvons aujourd'hui dans la situation très favorable où ce champ riche en questionnements et en ressources d'innovations qu'est le domaine du vivant est exploré par tous les moyens de l'interdisciplinarité.

Les sciences du vivant se caractérisent ainsi par une extraction d'informations à haut débit. Auparavant, on explorait les objets un par un, par exemple enzyme par enzyme ; c'était une démarche typiquement réductionniste. Cette dissection du vivant « élément par élément » ne suffit plus. Désormais, un étudiant peut explorer mille éléments en parallèle ! C'est une révolution dans la démarche de recherche : elle était orientée « objets » (on explorait une protéine, un signal hormonal), elle est désormais orientée « questions ». On explore une dynamique, un ensemble d'interactions, sous l'angle d'une question fonctionnelle. Par exemple : comment se forme la mémoire à partir des événements chimiques du cerveau ? La complexité du vivant nous apparaît dans toute sa dimension et nous sommes entrés dans l'ère des grands défis de la connaissance intégrative.

Cette exploration nouvelle suppose donc la mise en jeu de nouveaux moyens d'op-

tique, de robotique, de photonique à haut débit, d'informatique... Elle est devenue interdisciplinaire, et pour poursuivre dans cette démarche d'exploration nous devons renforcer encore ce caractère. Nous aurons de plus en plus besoin d'in-



formatique pour classer et trier les informations, de mathématique pour modéliser les évolutions, et aussi de robotique, de tout ce qui nous aidera à « manipuler » et à « représenter » le vivant.

C'est à cette condition que la recherche pourra explorer la complexité des trans-

formations du vivant et, par là, relever le défi des grandes pathologies chroniques. On sait ainsi aujourd'hui qu'il n'existe pas un diabète, mais qu'il s'agit d'une maladie multifacettes, de même que les cancers ou les phénomènes de vieillissement tissulaire. Les combats passent par la création de nouveaux médicaments, assise sur un processus de recherche qui requiert par exemple de nouvelles techniques d'imagerie pour l'exploration « corps entier ». Ces progrès ne peuvent que s'appuyer sur le mariage des capacités de connaissances et d'ingénierie.

L'engagement de l'École est donc un excellent choix, et ce n'est pas ma formation d'ingénieur chimiste qui pourrait m'inciter à penser le contraire. D'autant que le domaine du vivant est désormais le champ scientifique prioritaire des pays développés : aux Etats-Unis, 52% des dépenses fédérales de recherche portent sur le vivant. Il y a donc un double enjeu pour les écoles d'ingénieurs, au niveau des débouchés, mais aussi au niveau de la création de valeur par l'innovation. Il n'est pas douteux que, lancées dans cette démarche, elles ne participent à la découverte de nouveaux outils d'exploration du vivant.

dans des locaux provisoires, il va ensuite profiter de la modernisation du Centre Hospitalier Universitaire de l'agglomération stéphanoise. Celui-ci va en effet être réorganisé d'ici 2006 sur deux principaux sites : Nord et Bellevue. L'hôpital Nord regroupera dans des constructions neuves l'ensemble de la médecine, des urgences, de la chirurgie et de l'obstétrique. La nouvelle entité représentera 115 lits, 30 salles d'opération et des équipements d'imagerie modernes ; 15 laboratoires médicaux seront regroupés au sein du plateau com-

mun de biologie. C'est à côté de ce dernier que seront construits les locaux définitifs du CIS dans un bâtiment de 6 000 m² de plancher, pour un coût de 9,45 millions d'euros ; les investissements en matériels initiaux sont évalués à 3 millions d'euros.

Renforcer le tissu économique

Ainsi seront conciliées l'appartenance du CIS à l'École nationale supérieure des mines et son insertion dans le contexte médical, en

liaison directe avec la future installation de la Faculté de Médecine. Cette implantation symbolisera la transdisciplinarité qui caractérisera le CIS. Ce projet ne peut en effet relever seulement d'une grande école d'ingénieurs, mais doit s'inscrire dans une volonté de multiplier les collaborations avec des laboratoires et des équipes de recherche d'origines diverses avec en ligne de mire un but commun : renforcer et développer le tissu économique de la métropole stéphanoise et de la région Rhône-Alpes, et plus largement national, dans un secteur d'avenir. ■

Des produits encore mieux adaptés aux patients

Isabelle Vérilhac, directrice du Pôle des Technologies Médicales de Saint-Étienne

Le Centre Ingénierie et Santé est un projet très intéressant, autant pour les industriels que pour les médecins. Ces doubles formations, qui ouvrent des perspectives à la fois pour des emplois dans l'industrie, dans le milieu hospitalier, ou pour des carrières de chercheurs, correspondent à une évolution du métier : le secteur médical a de plus en plus besoin de personnel spécialisé dans les sciences de l'ingénieur ; des femmes et des hommes qui, tout en possédant des connaissances médicales, auront des capacités de manager, et seront également au fait de l'aspect réglementaire - par exemple des normes européennes - et du contexte médico-économique, notamment des contraintes pour la protection sociale.

Cette évolution est due à l'informatisation et au développement des technologies médicales, des systèmes qualité, parallèlement à l'importance croissante prise par les questions déontologiques, réglementaires et financières. Pour s'en persuader, il n'est que de songer à l'actuel plan de réforme et de financement de la sécurité sociale. La filière de la santé est naturellement un secteur porteur, ne serait-ce qu'à cause du vieillissement de la population, mais il va continuer à se développer sous le poids de contraintes financières fortes.

La coopération du corps médical et des ingénieurs est déjà visible autour des technologies de diagnostic : devenues très sophistiquées, elles réclament un personnel de plus en plus qualifié pour les mani-

pulations. Aussi les hôpitaux recrutent-ils désormais des ingénieurs, en informatique mais aussi dans d'autres spécialités comme l'imagerie.

Plus généralement, évoluer « en transversal », croiser les secteurs, permet de trouver des réponses à un besoin constant de développement et d'innovation. On y parviendra par exemple en introduisant les nano-technologies, ou des nouveaux matériaux testés dans d'autres industries. Le secteur médical est un secteur très en pointe pour la diffu-

sion de nouveaux matériaux : on constate souvent qu'ils sont créés dans l'industrie de la défense, puis gagnent l'aérospatiale civile, pour être utilisés aussitôt après par le secteur médical ; alors seulement, ils poursuivent leur carrière dans des produits de grande consommation, à commencer par l'automobile.

Le CIS est donc lié à cette ambition majeure du secteur médical : mettre au point de nouveaux produits encore mieux adaptés aux patients. Ainsi, des matériaux dits « à mémoire de forme » ou encore des tissus spécialement traités pour acquérir des propriétés physiques ou chimiques, utilisent par exemple la « fonctionnalisation de surface », c'est-à-dire le greffage des molécules par rayonnement,

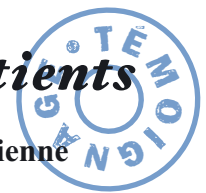
ou intègrent des capteurs physiques. On peut ainsi rêver de textiles qui « écouterait » le cœur et signaleraient tout dysfonctionnement, ou encore de ceintures

« intelligentes » dont la souplesse varierait pour prévenir les douleurs lombaires... Les biotechnologies arrivent. On n'a pas fini de les voir appliquées aux dispositifs médicaux.

D'autant que les chercheurs dans ces domaines sont des gens très innovants et habitués à de larges collaborations, notamment en participant à des programmes européens. Ils savent déjà ce que veut dire croiser les

disciplines !

Pour toutes ces raisons, le Pôle des Technologies Médicales de Saint-Étienne, dont les adhérents sont pour moitié des industriels et pour moitié des médecins et des chercheurs, est fortement impliqué dans le projet de Centre Ingénierie et Santé. Son nouveau président, Jean-Claude Bouvier, directeur des affaires réglementaires chez Thuasne, fait partie du comité de pilotage. Moi-même, en tant que directrice, je participe au comité opérationnel et pilote le groupe de travail sur les perspectives de retombées industrielles. Le Pôle des Technologies Médicales est donc une interface entre le CIS et les professionnels de la santé.



8 filières accueillies

Elèves ingénieurs, en formation initiale ou continue, étudiants en médecine ou en pharmacie, élèves-chercheurs : des publics variés, venant d'horizons divers, s'apprêtent à rejoindre le CIS.

Les industriels de la santé emploient des compétences qui relèvent à la fois du monde des ingénieurs et de celui de la santé. Le Centre Ingénierie et Santé devra donc dispenser des formations adaptées et encore inexistantes dans le secteur de la santé. Lorsqu'il aura atteint sa vitesse de croisière, le CIS accueillera chaque année 100 étudiants dans ses différentes filières de formation, soit un « stock » permanent de 200 à 210 élèves. Il assumera alors pleinement sa mission de formation de cadres scientifiques et techniques aptes à exercer leurs métiers dans les différents domaines de l'ingénierie de la santé. D'ici là, les huit filières prévues se mettront progressivement en place. En voici le détail.

Ingénieurs civils des mines orientés ingénierie et santé. Dans le cadre du cursus Ingénieur civil des mines, une quinzaine d'élèves seront accueillis chaque année dans la nouvelle filière. Ils suivront des enseignements spécialement créés en deuxième et troisième années et auront vocation à exercer leur métier aussi bien dans les établissements et services de santé que dans les industries du secteur.

Pharmaciens ingénieurs. Depuis 1996, six à huit étudiants en pharmacie sont formés chaque année à ce double diplôme, en collaboration avec la Faculté de Pharmacie de Lyon. Il est prévu de porter cet effectif à une quinzaine d'élèves chaque année, avec de nouvelles collaborations en région Rhône-Alpes et au-delà.



Médecins ingénieurs. Sur ce modèle, l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne prévoit d'accueillir chaque année une dizaine de jeunes médecins, titulaires d'un diplôme d'études supérieures de spécialité médicale, pour leur délivrer en deux ans le titre



« Des champs de compétences distincts, mais tous indispensables »

Julien Ghysel, pharmacien ingénieur

Si j'ai choisi de suivre il y a quatre ans la filière pharmacien ingénieur, c'est que je trouvais cette combinaison entre les métiers de l'ingénieur et ceux de la santé très intéressante et très judicieuse. Elle permettait d'acquérir des champs de compétences distincts, mais qui au final sont tous indispensables dans le secteur industriel de la pharmacie. Le pharmacien ingénieur, en effet, possède à la fois la culture pharmaceutique et la connaissance des normes de fabrication d'un médicament, mais aussi la manière de trouver des solutions techniques dans un tel procédé de fabrication pour pouvoir remplir ces exigences pharmaceutiques. Déjà à l'époque de mon passage à

l'École, je trouvais dommage que l'option Matériaux, par exemple, ne fût pas ouverte à des étudiants en médecine ou du secteur de la santé en général. Ce qui me faisait penser cela était en particulier la place prise par les nanotechnologies, et le phénomène ne s'est pas démenti depuis. Les professionnels de la santé ont besoin de maîtriser les techniques actuelles : un médecin utilise des prothèses faites dans des matériaux toujours plus évolués ; il recourt à des techniques de chirurgie ou d'imagerie de plus en plus avancées, automatisées et informatisées. Quant aux nouveaux traitements utilisant les polymères ou les biopuces, qui d'autre qu'un pharmacien-ingé-

nier ou un médecin-ingénieur serait plus apte à les concevoir et les mettre au point ?

Aujourd'hui, avec la création de ce nouveau centre dédié à l'ingénierie et à la santé, cette lacune est comblée. Des nouveaux professionnels de pointe vont pouvoir être formés. La collaboration de l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne dans ce beau projet montre une fois de plus son ouverture d'esprit et sa capacité d'adaptation pour former les professionnels de demain. De plus, le CIS va permettre de décloisonner les grands corps de métiers et de montrer qu'il existe aujourd'hui de fortes complémentarités, qui iront forcément crescendo.

ront 200 étudiants



d'Ingénieur civil des mines ; le titre de Docteur en Médecine sera obtenu lors du même cursus. Les étudiants issus de cette formation posséderont trois compétences : la médecine, les sciences de l'ingénieur et le management.

Ingénieurs sous statut salarié en génie industriel pour la santé. La création du CIS devrait permettre d'accroître les formations existantes (formation initiale par apprentissage et formation continue diplômante) au profit du secteur de la santé pour un effectif de

15 à 20 personnes. Quelques-unes de ses entreprises comme Thuasne, Merck, bioMérieux ou Ganzoni ont déjà expérimenté le dispositif avec satisfaction.

Mastère spécialisé en « Ingénierie et Santé ». Une vingtaine de médecins, pharmaciens, ingénieurs et cadres pourront suivre chaque année cette formation post-diplôme à orientation professionnelle qui vise la spécialisation ou l'acquisition d'une double compétence, soit à l'issue de leur cursus initial, soit après quelques années d'expérience professionnelle. L'accent sera mis sur la conduite de projets appliquée à la santé.

Masters recherche. Les formations de troisième cycle seront conduites dans le cadre de l'École Doctorale de Saint-Étienne (ED-SE), commune à l'Université Jean Monnet et à l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne. Parmi les masters recherche relevant de l'ED-SE, certains sont a priori impliqués dans le CIS : « Imagerie et modélisation de l'architecture cellulaire et tissulaire », « Sciences et génie des matériaux », « Génie des procédés », « Mécanique

et ingénierie », « Image, vision, signal ».

Doctorat en sciences. Les étudiants issus de ces masters recherche pourront poursuivre selon leur thème de recherche pour obtenir le titre de docteur en sciences de l'ingénieur ou en sciences du traitement de l'information appliquées à la santé.

Doctorat « double compétence ». Les étudiants en médecine préparant, en parallèle avec leur internat de spécialité, une thèse scientifique mention Biologie pourront, selon leur thème de recherche, préparer une thèse « double compétence » : biologie et matériaux, biologie et mathématiques, biologie et rayonnements ionisants, etc. ■

Des partenaires déjà habitués à travailler ensemble



Frédéric Lucht, doyen de la Faculté de Médecine de Saint-Étienne

Je vois ce projet positivement, avec beaucoup d'enthousiasme, en particulier pour la synergie qu'il crée sur le plan pédagogique avec les doubles diplômés de médecins ingénieurs.

Il ne faut pas se dissimuler les difficultés pratiques de cette création, même si aucune n'est insurmontable. On ne soupçonne pas toujours à quel point les études médicales sont réglementées. Mes interlocuteurs de l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne ont par exemple été très surpris d'apprendre que chez nous les stages commencent toujours le 1^{er} novembre ou le 1^{er} mai. D'autre part, le niveau d'anglais des élèves ingénieurs est très supérieur à celui des étudiants en médecine. De toute façon, ces doubles diplômés s'adresseront, disons le mot, à une forme d'élite ; il n'y aura donc aucun problème sur ce plan.

Les débouchés seront nombreux pour les médecins ingénieurs dans les entreprises d'ingénierie, de radiodiagnostic, de biologie lourde, de textiles médicaux, de biomatériaux pour prothèses, d'hygiène, etc. L'autre aspect enthousiasmant est celui de la recherche : le CIS sera une plate-forme technologique d'ingénierie de la santé. Les contours scientifiques restent à préci-

ser, mais des idées de collaborations sont déjà lancées, par exemple dans le domaine des prothèses. Les personnes concernées

sont déjà habituées à travailler ensemble, notamment au sein de l'École Doctorale. Entre les acteurs concernés existent des liens informels, mais aussi formels, avec deux partenaires : le Pôle des Technologies Médicales et l'École Doctorale de Saint-Étienne. Le CIS va concrétiser cette

synergie qui existe en fait depuis plusieurs années.

Un partenaire essentiel est le CHU, intéressé notamment par l'ingénierie des systèmes de soins. En France, autant les services hospitalo-universitaires eux-mêmes sont d'un très haut niveau, autant cette organisation inter-services prête souvent à critiques. Le CIS aura donc aussi un rôle à jouer avec des travaux de modélisation qui trouveront à s'appliquer dans l'occupation des lits et des blocs opératoires, le déplacement des malades, etc. Par là, le CIS touche aussi au contexte financier de la santé, dont il n'est plus besoin de souligner l'importance.

Il me paraît enfin important de noter que le CIS répond à une volonté exprimée par le ministre de l'Industrie.



Une recherche de haut

A partir des compétences actuelles de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, nouvelles, le CIS a défini cinq axes de recherche prioritaires

Un projet fédérateur comme celui du Centre Ingénierie et Santé ne peut manquer, dans le domaine de la recherche, d'associer largement des compétences dans le cadre de partenariats locaux, régionaux, nationaux et internationaux réunissant entreprises, universités, grands organismes de recherche et de transfert de technologie. Ambitionnant de développer l'industrie et l'emploi dans le domaine de la santé, ses laboratoires de recherche seront donc positionnés sur des axes offrant des synergies par rapport à l'existant et répondant aux attentes de l'industrie dans le domaine de la santé. La recherche sera de nature fondamentale et appliquée, sur des axes situés en amont des applications issues des besoins industriels et médicaux. Ce sera donc une recherche de haut niveau scientifique, fortement connectée au milieu économique et médical, imbriquée à la formation.

Les recherches s'appuieront sur des compétences, souvent utilisées dans d'autres domaines, des acteurs de l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne, notamment les deux unités mixtes de recherche CNRS : PECM (plasticité, endommagement et corrosion des matériaux) dans le domaine des matériaux et de la mécanique, et LPMG (laboratoire des procédés en milieu granulaire) dans celui des procédés, ainsi qu'à l'université Jean Monnet de Saint-Étienne. D'autres entraîneront les partenaires dans des voies totalement nouvelles.

Un groupe constitué d'ingénieurs, de médecins et d'industriels a défini cinq axes principaux :

- Biomatériaux et mécanique
- Imagerie et Statistique
- Organisation et Gestion
- Dynamique des systèmes biologiques
- Bio environnement industriel

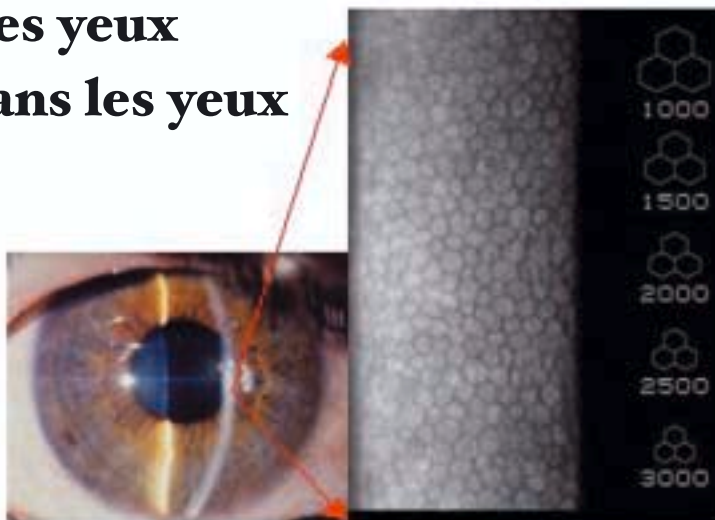
Les trois premiers axes constitueront le noyau dur du centre CIS. Ils sont détaillés ci-dessous.

Premier axe de recherche : biomatériaux et mécanique

L'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne possède une expertise reconnue dans le domaine des biomatériaux et de leur interaction avec le vivant, comme le prouvent ses travaux sur les prothèses

articulaires et les matériaux de comblement osseux. Ce seront naturellement deux thèmes prioritaires de recherche au CIS, qui s'appuieront d'une part sur des expérimentations approfondies utilisant des équipements de laboratoire reproduisant les phénomènes in vivo, d'autre part sur des interprétations à base de simulations numériques. Un troisième thème de recherche s'intéressera au comportement mécanique pour le vivant, s'appuyant lui aussi

Les yeux dans les yeux



L'un des thèmes de recherches auxquels va se consacrer le CIS est le traitement et l'analyse d'images. Le but est de concevoir et de mettre en place des méthodes et modèles non linéaires, multi-échelles et morphologiques qui permettront la représentation, l'analyse, la modélisation et l'interprétation d'images. Dans ce cadre, un projet de recherche intitulé « Analyse in vivo de l'endothélium cornéen humain » doit démarrer dès la rentrée 2004 en partenariat avec l'Etablissement Français des Greffes, la Faculté de Médecine et le CHU de Saint-Étienne.

L'endothélium cornéen est une mono-couche de cellules situées à la face postérieure et concave de la cornée ; elles régulent précisément son hydratation et assurent sa transparence. La surface de ces cellules ainsi que leur forme hexagonale sont relativement régulières et leur densité pratiquement stable tout au long de la vie. De nombreuses circonstances (maladies de la cornée, chirurgie de la myopie) peuvent malheureusement affecter leur densité et leur morphologie. Ces cellules peuvent être facilement photographiées in vivo chez le patient grâce à la microscopie spéculaire. Le projet vise à analyser leur distribution spatiale pour en déterminer les qualités et les performances. Les mêmes techniques peuvent s'appliquer à une cornée qui doit être greffée.

niveau scientifique

Saint-Étienne et de ses partenaires, mais en explorant aussi des voies totalement nouvelles répondant aux besoins des industries et services de la santé.

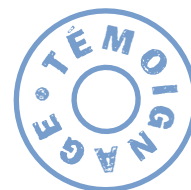
sur des simulations réalistes et des méthodes numériques.

Deuxième axe de recherche : imagerie et statistiques

Dans le domaine de la santé, les informations scientifiques sont de plus en plus nombreuses, volumineuses, précises et complexes : aussi bien les « signaux » (électrocardiogrammes, échographies, etc.) que les « images » (radiographies, IRM, etc.) ou les données d'analyse, bilans sanguins par exemple. Le traitement de ces informations, de l'acquisition à la décision en passant par la représentation, **suite p.11**



« J'ai appris à décoder ce qu'il est important de connaître »



Fabien Bernard, thésard chez bioMérieux

Comment je me suis retrouvé dans la recherche médicale ? Au départ, j'étais élève à l'école d'ingénieurs CPE de Lyon, avec une spécialité électronique et traitement de l'information ; puis j'ai fait un DEA de traitement d'image à Saint-Étienne et j'ai voulu poursuivre dans l'imagerie. Le milieu médical et l'astronomie m'attiraient tous deux, j'ai choisi le premier. Par goût, et parce que je sais qu'on aura de plus en plus besoin de nouvelles compétences dans le secteur médical.



Aujourd'hui, je prépare une thèse chez bioMérieux, commencée en début d'année sous la direction d'un professeur de l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne et d'un scientifique de chez bioMérieux. Elle se situe dans la continuité de mon stage de DEA, qui avait déjà eu lieu dans cette entre-

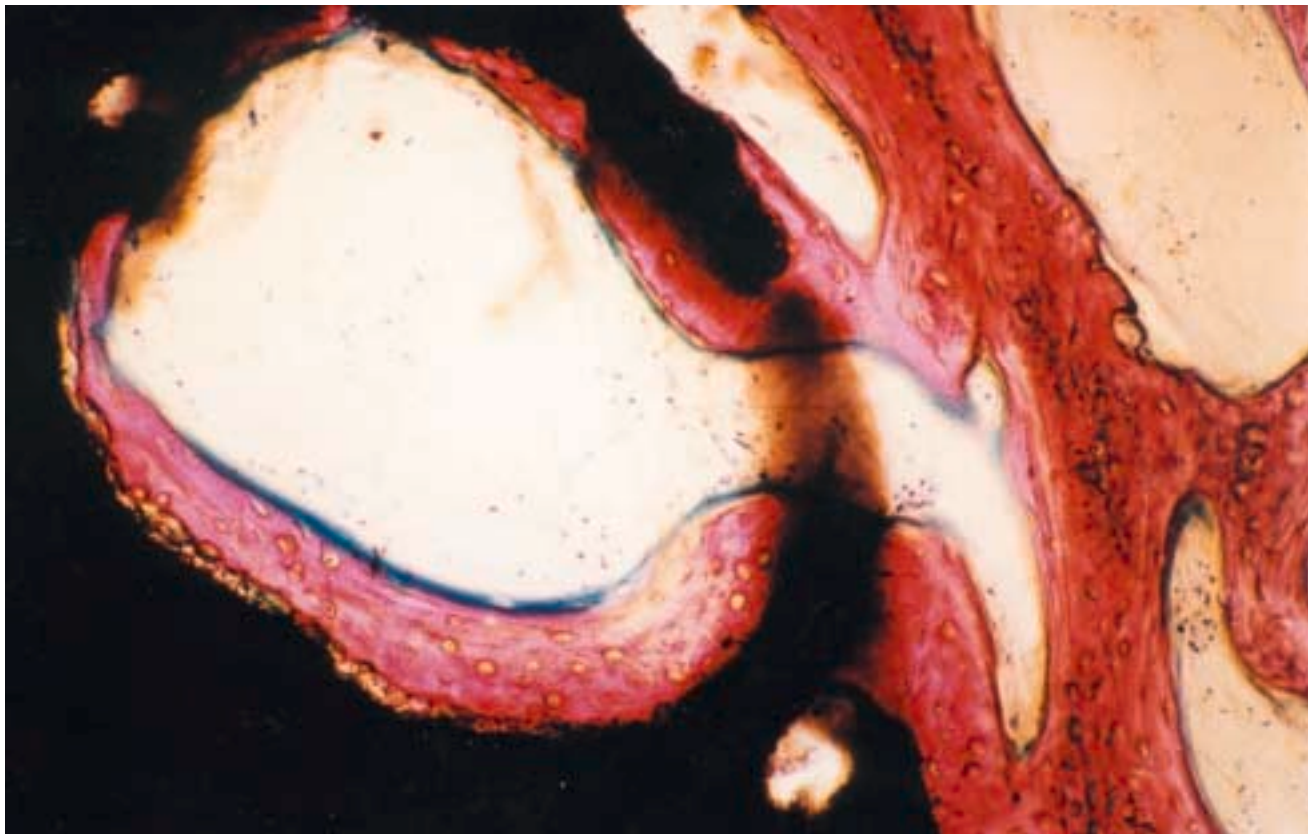
prise. Je participe à un projet visant à réaliser un diagnostic précoce du cancer colo-rectal (qui se soigne bien s'il est dépisté tôt) grâce à l'approche protéomique, c'est-à-dire fondée sur l'étude des protéines. Il existe un « protéome » humain comme il existe un génome humain, mais alors que celui-ci est constant, celui-là se modifie en fonction de l'état de santé de la personne. Les protéines marquent le cancer.

La protéomique s'appuie principalement sur trois types d'outils qui permettent de séparer les molécules : la spectrométrie de masse, la chromatographie et l'électrophorèse. Dans mon stage de DEA, le sujet était l'exploitation des images de gel d'électrophorèse bidimensionnelle. Aujourd'hui, ma thèse reprend le même sujet et d'autres données issues des autres

techniques. C'est du traitement de l'information, sur images ou spectres, donc en aval de l'aspect biologique.

J'ai dû apprendre à décoder ce qu'il est important pour moi de connaître. Je n'ai pas besoin de tout savoir, car la biologie est un autre métier. Cependant, il faut parfaitement comprendre les besoins des biologistes. J'ai fait l'effort de m'adapter, mais ce n'était pas si difficile : les gens étaient au courant de ma formation, ils ont su m'expliquer ce qu'ils voulaient avec des mots simples. J'arrive à comprendre l'essentiel et à savoir où est ma place.

Une fois ma thèse soutenue, je peux envisager de rejoindre un laboratoire de bio-informatique ou de bio-mathématiques, incluant de l'imagerie et des statistiques. Mais je pourrais aussi continuer dans la recherche, sinon la recherche pure en tout cas le développement d'applications. J'y aurai été familiarisé par ma recherche actuelle, qui est une thèse CIFRE, c'est-à-dire une thèse en entreprise.



Apposition osseuse autour d'un bloc dense de phosphate de calcium synthétique après deux mois d'implantation.



Tissus osseux : de nombreuses occasions de travailler avec les ingénieurs

Pr. Christian Alexandre, rhumatologue, chercheur au LBTO (Laboratoire de Biologie du Tissu Osseux), Equipe Inserm 366, Saint-Étienne

Depuis longtemps, nous avons des relations scientifiques, aussi bien d'ailleurs qu'amicales, avec les enseignants de l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne ; nous avons réalisé ensemble des publications scientifiques. L'idée nous est venue de nous regrouper de façon un peu plus formelle. J'ai eu la chance de faire partie du groupe d'experts des Ecoles des mines placé sous la responsabilité de Pierre Tambourin, qui a conclu que celle de Saint-Étienne voulait et pouvait prendre une orientation santé. A partir de là, un projet scientifique s'est ébauché, qui renvoie à trois domaines principaux de recherche : les matériaux, avec le LBTO ; l'imagerie, avec une équipe d'accueil de



l'Université de Saint-Étienne et une équipe de recherche INSERM commune à Lyon et Saint-Étienne ; enfin l'organisation et la gestion, avec la direction générale du CHU de Saint-Étienne.

Dans le domaine du tissu osseux qui est le nôtre, de nombreuses recherches communes sont envisageables. Pour prendre en charge l'ostéoporose, par exemple : la fragilité osseuse est-elle due à un manque de calcium ? A une modification de l'architecture osseuse ? A un changement des qualités intrinsèques de l'os, cristal ou matrice protéique ? Le déterminer nécessite des examens que nous ne savons pas faire encore in vivo chez l'homme, en nous appuyant sur des technologies que nous devons mettre au point avec des ingénieurs. Preuve du large éventail

des compétences requises, dès 1996 nous avons publié les résultats d'une analyse osseuse par spectrométrie infrarouge d'os d'animaux ayant volé dans l'espace. D'autres domaines ont beaucoup à gagner d'une telle collaboration. Les orthopédistes travaillent à modéliser les réponses du tissu osseux au voisinage de prothèses. Il y a aussi toute la recherche sur les biomatériaux : comment trouver, décrire, fabriquer des matériaux de comblement qui seront inclus dans les tissus osseux pour avoir sur eux un effet inducteur favorable ? L'imagerie enfin du squelette des cellules va nous renseigner sur les capacités de travail de ces mêmes cellules, mais comment analyser les images ?

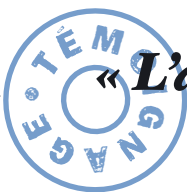
En médecine, la part de l'inconnu est supérieure à celle du connu, et il suffit d'un peu d'imagination pour penser à toutes sortes de collaborations fructueuses.

suite de la p. 9

la visualisation, la modélisation, la simulation et l'interprétation, forme un domaine de recherche transdisciplinaire associant aux sciences cliniques et médicales des compétences en physique, en mathématiques, en informatique et en électronique. Dans ce contexte, le CIS se propose de travailler sur l'acquisition d'images microscopiques bi- et tridimensionnelles, la représentation, l'analyse et la modélisation de structures 2D et 3D, le traitement d'image et du signal pour la caractérisation et la modélisation de biomatériaux ou d'organismes vivants, enfin sur le traitement statistique de données et l'aide à la décision.

Troisième axe de recherche : organisation et gestion

Ce thème se propose de fournir aux établissements hospitaliers et de soins spécialisés les outils nécessaires à la modernisation de leur gestion industrielle et de leur organisation logistique, en particulier pour toutes les activités les plus sensibles, celles qui touchent de près à la réalisation et au suivi des soins du patient. La difficulté provient de leur double caractère incertain (elles ne sont pas toujours planifiables) et complexes, car reposant sur des spécialistes aux fortes compétences et au pouvoir de décision important. Les outils et méthodes expérimentés avec succès dans l'industrie manufacturière ne sauraient donc être transposables en l'état. Deux axes complémentaires ont déjà démarré. Le premier est la dynamique des systèmes biologiques, à partir de la modélisation mathématique, des réponses cellulaires de l'organisme (lymphocytes T) face à une agression virale ou dans le cadre d'une allergie. Le second concerne le bio-environnement industriel et doit permettre de mieux mesurer les risques sanitaires liés à la diffusion de polluants microscopiques ; l'approche est donc à la fois biologique et médicale (étude de toxicité) et de type ingénierie (étude et quantification du risque, cartographie de site). ■



« L'assemblage des compétences est une nécessité »

Jean-Jacques Gagnepain, directeur de la Technologie au ministère de la Recherche

Le domaine du médical demande depuis toujours des gens compétents à la fois en sciences pour l'ingénieur et en médecine.

Pourtant, jusqu'à une période récente, rien n'était réellement organisé pour assurer cette double formation. Les chercheurs possédant le double diplôme sont restés peu nombreux et ne sont parvenus à cette double compétence que par un travail personnel considérable -et tout à fait remarquable- en prolongeant leurs études. Il faut donc penser la question d'Ingénierie et Santé d'abord en terme de formation.

La deuxième approche consiste à faire travailler ensemble des chercheurs compétents dans leur discipline au sein d'un

même laboratoire. La pluridisciplinarité n'est donc pas, dans ce cas, celle du chercheur, mais par construction elle est celle de l'équipe.

De façon générale, les problèmes posés à la recherche par la société, le monde économique, l'industrie, trouvent aujourd'hui de moins en moins leurs solutions au sein d'une seule discipline académique. L'assemblage des compétences est une nécessité, et c'est particulièrement vrai pour le biomédical. Plus généralement, les entreprises sont de moins en moins « monométier » et doivent savoir réunir différents savoir-faire pour concevoir et fabriquer les produits qu'elles vendront.



L'importance de la recherche clinique

Guy Richier, directeur général du CHU de Saint-Étienne

Pôle hospitalo-universitaire en Rhône-alpes, le CHU de Saint Etienne assure une triple mission de soins, enseignement et recherche. Il développe actuellement un plan de modernisation de l'ensemble de ses installations qui prévoit notamment le regroupement des activités de médecine, chirurgie et obstétrique sur le site de l'hôpital nord à l'horizon 2006.

Caractérisé par une recherche clinique dynamique, le CHU de Saint Etienne obtient chaque année d'excellents résultats dans le cadre des appels à projets nationaux au titre du PHRC (programme hospitalier de recherche clinique). Il a obtenu en 2003 la création d'un centre d'investigation clinique (épidémiologie clinique) et a conclu un accord de partenariat avec l'INSERM. Cette recherche clinique est adossée à une recherche fondamentale qui est exercée à l'Université en liaison avec le CHU. Elle est favorisée par l'environnement universitaire et scientifique et par la synergie avec un ensemble d'acteurs intervenant dans le domaine de la

santé à Saint Etienne, dont le pôle des technologies médicales.

Le Centre Hospitalier Universitaire développe depuis plusieurs années des relations de partenariat avec l'Ecole des Mines de Saint-Etienne. Ces relations ont été formalisées dans une charte de partenariat conclue en 2002 en lien avec l'Université de Saint-Etienne.

L'implantation du CIS de l'Ecole des Mines est prévue au CHU, sur le campus hospitalo-universitaire Nord, à proximité du plateau commun de biologie et du futur site d'implantation de la Faculté de Médecine et en relation avec d'autres structures telles que l'institut de cancérologie de la Loire, fruit d'un partenariat entre la mutualité et le CHU. Nous nous attachons ainsi à développer les relations avec l'ensemble des institutions concourant à la recherche à Saint Etienne. L'implantation du CIS sur le campus nord et la perspective de création d'un institut fédératif de recherche constituent une nouvelle étape du processus engagé.



Le Centre Ingénierie et Santé en un coup d'œil

Les dates clés

26 mai 2003

Décision du CIADT (Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire) : « Renforcement de l'Ecole des mines avec la constitution du Centre Ingénierie et Santé ».

18 juin 2003

Lettre de mission de Nicole Fontaine, ministre de l'Industrie, à Robert Germinet, directeur de l'Ecole des Mines de Saint-Étienne.

- Animation d'un comité de pilotage par le préfet de la Loire.

- Création de 11 groupes de travail constitués de 43 personnes représentant l'ENSM-SE, l'Université Jean Monnet, l'INSERM, le CNRS, le CHU de Saint-Étienne, la Faculté de Médecine de Saint-Étienne, le Pôle des Technologies Médicales et des industriels.

25 juin 2003

Audit piloté par Pierre Tambourin, directeur de Genopole®

12 décembre 2003

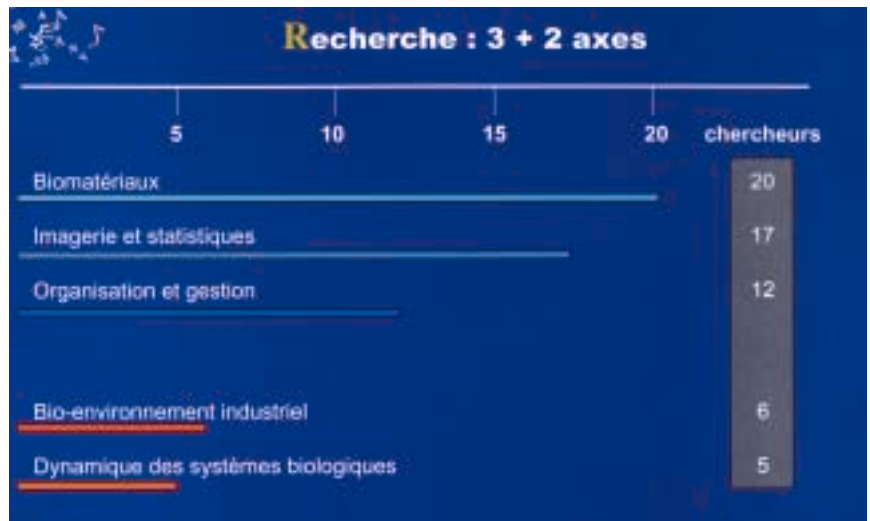
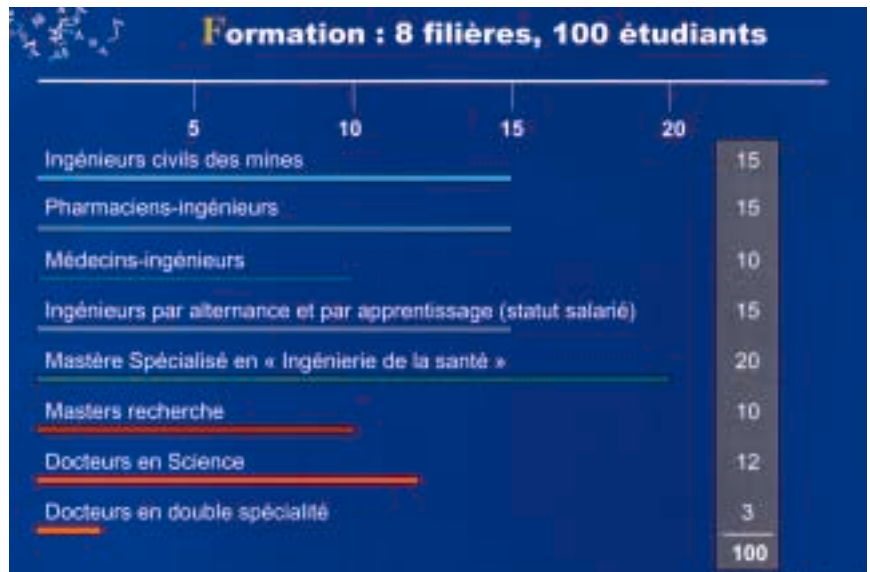
Appui significatif de Christian Bréchet, directeur général de l'INSERM.

21 janvier 2004

Remise de l'étude de préfiguration du CIS.

27 mai 2004

Approbation de la création du CIS par le conseil d'administration de l'Ecole.



L'échéancier prévisionnel



SMS : Sciences des Matériaux et des Structures
 SPIN : Sciences des Processus Industriels et Naturels
 SITE : Sciences, Information et Technologies pour l'Environnement
 G2I : Génie Industriel et Informatique
 GMP «GC» : Centre Microélectronique de Provence «Georges Charpak»