

# LA SYNERGIE FORMATION-RECHERCHE EN ÉCOLE D'INGÉNIEURS



Introduction - **page 2**

La formation d'ingénieur : la colonne vertébrale de la stratégie d'une école d'ingénieurs - **page 4**

La recherche en école d'ingénieurs - **page 5**

Une recherche de haut niveau : une nécessité pour une formation de qualité - **page 8**

Conclusion - **page 16**

Annexes - **page 18**

La recherche fait partie des missions d'une école d'ingénieurs, quel que soit son statut. La recherche est ainsi spécifiée officiellement comme l'une des six missions de service public communes à l'ensemble des établissements d'enseignement supérieur, décrites dans l'article L. 123-3 du code de l'éducation, au même titre que la formation initiale et tout au long de la vie :

«Les missions du service public de l'enseignement supérieur sont [...] : 2° La recherche scientifique et technologique, la diffusion et la valorisation de ses résultats au service de la société. Cette dernière repose sur le développement de l'innovation, du transfert de technologie lorsque celui-ci est possible, de la capacité d'expertise et d'appui aux associations et fondations, reconnues d'utilité publique, et aux politiques publiques menées pour répondre aux défis sociétaux, aux besoins sociaux, économiques et de développement durable».

Le texte du code de l'éducation est également explicite sur les liens de cette activité de recherche avec notamment l'innovation, le transfert de technologie, la réponse aux défis sociétaux et les besoins économiques. L'ensemble est inscrit dans l'ADN des écoles d'ingénieurs.

L'impératif d'**un lien fort entre formation d'ingénieur et recherche apparaît de manière encore plus claire dans les critères d'évaluation des formations d'ingénieurs par la Commission des titres d'ingénieur (CTI)**<sup>1</sup>. L'ancrage avec la recherche et l'innovation y est identifié comme l'un des attendus d'une formation d'ingénieur, qui permet l'adéquation des compétences acquises par l'ingénieur diplômé avec les évolutions du monde socio-économique.

À ce titre, le document « Références & Orientations » (R&O), ouvrage de référence de la CTI, fait explicitement apparaître qu'en vue de son accréditation, l'école a une politique clairement exprimée en matière de recherche et d'innovation. Les relations et partenariats avec des organisations internes ou externes dédiées à des activités de recherche permettent la réalisation du projet de l'école et contribuent à la qualité de la formation des ingénieurs. L'école participe à la définition commune des thèmes émergents de formation et de recherche en liaison avec ses partenaires universitaires, les organismes et les entreprises. Les enseignants-chercheurs sont impliqués dans des équipes de recherche, facilitant ainsi la sensibilisation et l'initiation à la recherche des élèves ingénieurs.

La qualité de la recherche de l'école est reconnue par la communauté scientifique ainsi que par les milieux économiques. Les activités de l'école qui y ont trait permettent l'obtention de contrats avec des entreprises.

Ce même document indique, en outre, que l'école doit avoir une stratégie clairement identifiée dans les domaines de l'innovation, de la valorisation et du transfert des résultats de la recherche, de l'entrepreneuriat [...]. L'école contribue par ses activités pédagogiques et de recherche à la création de projets, de produits ou services, d'activités et d'entreprises innovants. L'école possède ou partage les structures adéquates pour réaliser ces activités. L'école associe à ces activités l'ensemble de ses enseignants et élèves.

1. Créée en 1934, la CTI est le seul organisme indépendant qui évalue et accrédite toutes les formations d'ingénieurs. Seules les formations accréditées par la CTI permettent d'obtenir le titre d'ingénieur diplômé.

Il ressort que **la formation des étudiants et l'activité de recherche sont intimement liées dans les écoles d'ingénieurs**. Il convient de considérer ces deux missions comme un tout indissociable, qui apporte une valeur ajoutée significative, autant pour la formation de la jeunesse que pour le dynamisme économique de nos entreprises. Au contraire, toute tentative de dissociation et d'éloignement laissant penser ou conduisant que l'une et l'autre peuvent être menée parallèlement, en silos, ne peut mener qu'à l'affaiblissement, tant de la formation que de l'activité de recherche, avec **le risque de former des jeunes à des métiers ou à des méthodes obsolètes**.

Pour autant, si la relation systémique entre formation et recherche est claire à un niveau que l'on pourrait considérer comme méta, son instanciation au cœur même de l'activité d'une école d'ingénieurs ne se manifeste pas de manière tout aussi évidente, ou tout du moins formalisée. À l'heure où les interrogations sont grandes et multiples dans un contexte de nouvelle structuration de l'enseignement supérieur et de questionnement sur les nouvelles façons de former nos jeunes à des métiers qui n'existent pas encore, il apparaît fondamental de pouvoir s'appuyer sur une réflexion argumentée de la synergie entre la formation et la recherche dans une école d'ingénieurs.

Une telle réflexion est en effet nécessaire, bien que certes non suffisante, pour que la nouvelle organisation de l'enseignement supérieur, mais également nos nouvelles façons de former, soient synonymes de création de valeur pour nos écoles, nos diplômés et le monde socio-économique.

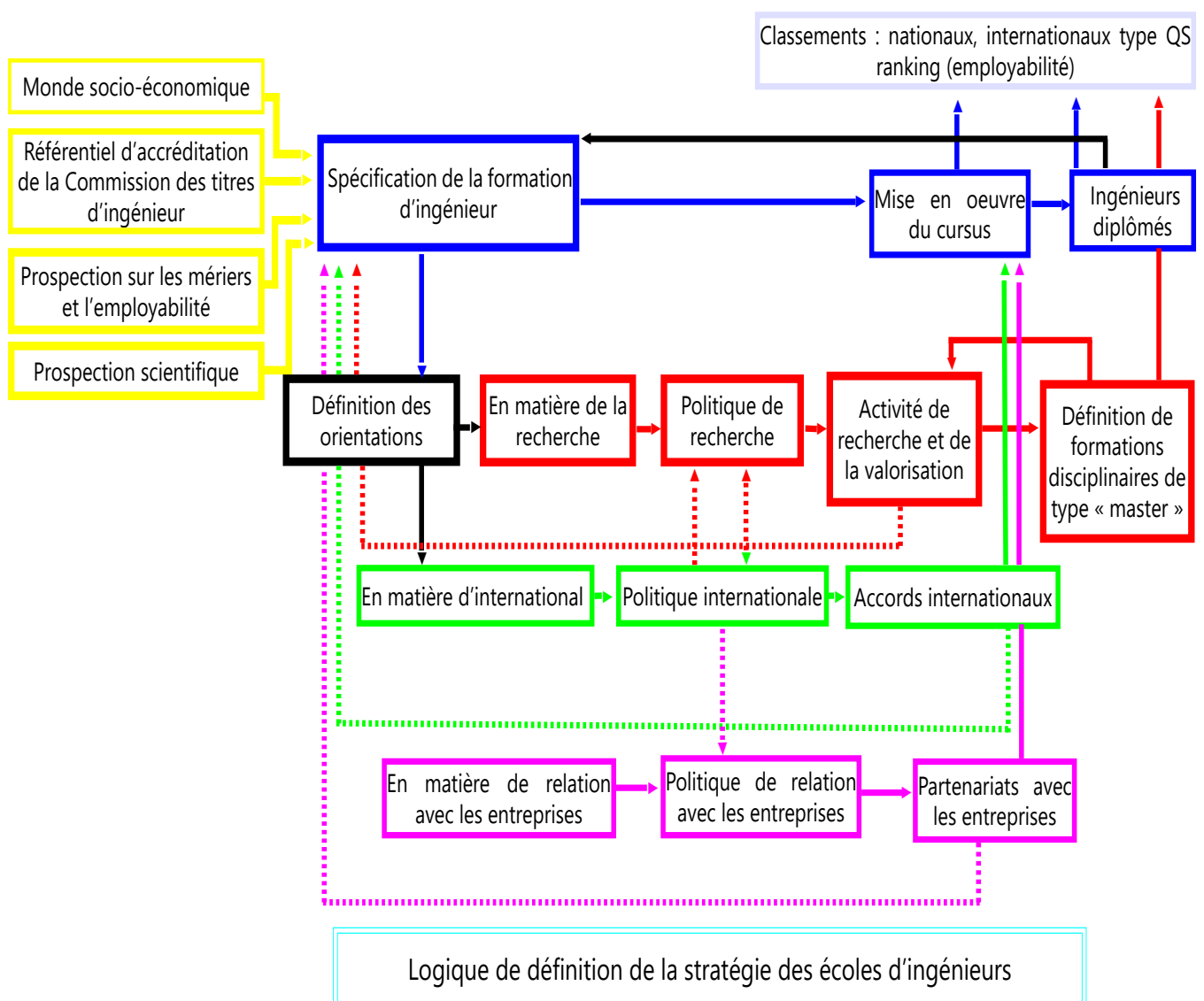


# LA FORMATION D'INGÉNIEUR : LA COLONNE VERTÉBRALE DE LA STRATÉGIE D'UNE ÉCOLE D'INGÉNIEURS

**Formation et recherche sont deux missions tout aussi importantes dans l'ensemble des établissements d'enseignement supérieur, même si la façon de les intégrer peut différer.** Pour une école d'ingénieurs, dont la vocation principale est de mettre en œuvre une ou des formations à caractère professionnalisant, le fil rouge stratégique majeur est celui qui mène à **une reconnaissance forte des diplômés délivrés par le monde socio-économique.**

Les objectifs stratégiques premiers à atteindre seront ainsi la reconnaissance du diplôme par la CTI (au regard du référentiel d'accréditation), un taux d'employabilité élevé dès la diplomation, une adéquation aux besoins exprimés par le monde socio-économique, l'adaptabilité aux évolutions professionnelles et sociétales ou encore l'anticipation des évolutions scientifiques et technologiques au service des entreprises et de la société. L'activité de recherche et d'innovation, les relations avec les entreprises, les relations internationales ou encore le recrutement, pour ne citer que quelques exemples, ont également vocation à majoritairement soutenir les objectifs stratégiques en matière de formation d'ingénieur.

Le schéma ci-dessous permet de visualiser de manière simplifiée la logique conduisant à la définition de la stratégie d'une école d'ingénieurs et l'importance des prérogatives décisionnaires en matière de recherche et d'innovation.





Avant d'aborder la question de la synergie entre la formation et la recherche, il est nécessaire de bien **appréhender l'étendue de l'activité de recherche menée dans les écoles d'ingénieurs**. Pour ce faire, il est intéressant d'aborder le sujet par le biais de l'innovation, qui est au cœur même de la formation d'ingénieur, et plus précisément par le mode d'initiation du processus d'innovation.

Nous distinguons ainsi **trois différents modes d'initiation du processus d'innovation**.

- Nous nommons le premier « **descendant** ». Ce processus part d'une découverte d'un laboratoire, donnant lieu à brevet puis à maturation et enfin à application industrielle, soit dans une entreprise existante soit dans une start-up créée à l'occasion. Ce type de processus peut être initié indifféremment dans une université ou dans une école d'ingénieurs. Une université, comprenant en général un nombre de laboratoires nettement plus important qu'une école d'ingénieurs, produira davantage de brevets et de start-up (spin off en l'occurrence). Il existe un processus voisin lorsqu'un laboratoire vend son savoir-faire, par exemple en matière de modélisation numérique.
- Le second mode d'initiation de l'innovation sera nommé ici « **collatéral** » : une entreprise, grande ou petite, a un problème à résoudre et se tourne vers une université ou une école d'ingénieurs pour que celle-ci l'aide à trouver une solution. Cette solution peut consister en une amélioration du produit ou de process, résultant d'un travail de R&D. Il se peut que ce travail ne suffise pas et qu'il faille activer tel ou tel laboratoire pour surmonter la difficulté. Et ce laboratoire peut, à ce moment-là, être amené à aboutir à une découverte ou à une innovation de rupture. Ce type de processus est semblable à ce qui s'observe dans les LabCom, notamment ceux aidés par l'ANR au bénéfice de PME qui n'ont pas les moyens de soutenir seules leur effort de R&D. Ce processus peut être lui-même être décomposé en deux catégories :
  - ▶ L'une correspond au cas où l'entreprise a identifié un verrou scientifique et se tourne vers un laboratoire pour le lever : on est dans le cas de la recherche partenariale, qui le plus souvent concerne des entreprises dont la taille est suffisante pour lui permettre de financer sa R&D en interne ; ce processus peut produire des brevets et des améliorations produit-process.
  - ▶ L'autre processus correspond au cas où l'entreprise ne dispose pas de ressources de R&D en interne et se tourne directement vers un établissement pour y trouver de l'aide.
- Par anticipation à ce qui sera développé dans la suite de ce document, le troisième mode d'initiation de l'innovation que nous évoquons ici est « **ascendant** ». L'archétype en est l'idée portée par un individu, souvent un jeune et souvent aussi un étudiant. Cette idée, d'un produit ou d'un service, achoppe sur des difficultés, dont l'étudiant peut discuter avec les enseignants-chercheurs de son environnement immédiat. Parfois l'idée est abandonnée, d'autres fois elle aboutit et se transforme en start-up. Un nombre important d'idées initiales dans ce type de processus porte sur des évolutions d'usages ou la création de nouveaux usages, et le système technique est au service de ces évolutions et non pas l'inverse.

Dans le premier cas, l'entreprise peut se tourner vers une université ou une école d'ingénieurs. Dans les faits, elle choisira d'abord le laboratoire partenaire en fonction du verrou à lever.

Dans le second cas, le processus peut se produire dans une université ou une école d'ingénieurs. Cependant, l'environnement d'une école d'ingénieurs s'avère, par nature, plus propice. Les enseignants sont, pour partie, des praticiens d'entreprise et, pour partie, des enseignants-chercheurs ; ils ont l'habitude d'enseigner leur discipline avec le souci de son application à des cas concrets (modélisation, études de cas) ; ils sont régulièrement approchés par des entreprises pour traiter de sujets divers ; les étudiants sont exposés aux différentes disciplines qui sont à mobiliser pour traiter de la modélisation, de la conception et de la production ; ils sont impliqués dans des projets pour s'entraîner à leur future pratique, et sont régulièrement mobilisés par leurs enseignants pour travailler sur des cas soumis par des entreprises.

L'écosystème interne d'une école d'ingénieurs incite donc l'entreprise à s'adresser à elle et lui fournit les ressorts pour répondre. Cet écosystème fournit une double ressource : les étudiants et les expertises de l'école.

*« L'AGILITÉ ET L'INTERDISCIPLINARITÉ DES ÉCOLES D'INGÉNIEURS EN FAIT DE BONNES INTERFACES POUR LES INNOVATIONS D'AMÉLIORATION DANS LES ENTREPRISES »*

Bien sûr, ce processus va également mobiliser les ressources des laboratoires de l'école d'ingénieurs en tant que de besoin, que ce laboratoire soit implanté dans les murs de l'école, comme c'est souvent le cas, ou qu'il le soit dans l'université voisine.

Ce que l'écosystème de l'école d'ingénieurs apporte, c'est une interface efficace entre le monde académique et celui de l'entreprise. Ce type de processus ne produit pas forcément de brevet et généralement pas de start-up, puisque le travail est fait à la demande d'une entreprise. Par contre, il produit des améliorations dans le produit et/ou le processus, ce qui va générer une création de valeur et à terme des emplois, ce que les start-up produisent statistiquement en moins grande proportion puisque leur taux de mortalité restera toujours élevé, par construction.

Dans les trois cas, le processus comporte des phases d'imprévu et des phases de développement délibéré, dans des ordres qui ne sont pas les mêmes. Dans le premier processus, l'imprévu est premier et un développement programmé suit. Dans le second processus, le commencement est délibéré et il peut être suivi ou non de phases d'imprévu. Le troisième peut s'avérer être une succession d'imprévus avant qu'une phase plus programmée puisse émerger. L'imprévisibilité de telles séquences montre l'importance de la liberté des acteurs et de la souplesse des organisations pour favoriser l'innovation.

Cette typologie, qui comme toute typologie est une simplification de la réalité, met en évidence les **rôles complémentaires des universités et des écoles d'ingénieurs**. Toujours en simplifiant à l'extrême, le grand nombre de laboratoires et de chercheurs de l'université fait de celle-ci un producteur de découvertes et de brevets ; tandis que l'agilité et l'interdisciplinarité des écoles d'ingénieurs en fait de bonnes interfaces pour les innovations d'amélioration dans les entreprises, et ce d'autant plus que les enseignants de ces écoles sont également actifs dans des laboratoires de recherche, qui peuvent être mobilisés. Les deux types d'établissements ont chacun leur mode d'autonomie : **à l'université c'est l'autonomie du chercheur qui produit la valeur, tandis que dans l'école d'ingénieurs c'est l'autonomie de l'établissement qui la produit.**

Ainsi, de manière schématique, sans pour autant en faire des modèles exclusifs, les cultures de recherche des écoles d'ingénieurs et de l'université sont fondamentalement complémentaires. À l'université, le

modèle dominant est celui d'une recherche fondamentale, qui peut déboucher sur des brevets, eux-mêmes produisant des start-up ; alors que dans les écoles d'ingénieurs, le modèle dominant est celui qui consiste à partir d'un verrou technologique, à remonter à la recherche fondamentale, puis à redescendre vers une solution technologique.



# UNE RECHERCHE DE HAUT NIVEAU : UNE NÉCESSITÉ POUR UNE FORMATION DE QUALITÉ

Les premiers à bénéficier d'un environnement de recherche et d'innovation de haut niveau sont les élèves-ingénieurs. Pour bien le comprendre, il convient de mettre en regard les compétences attendues des ingénieurs diplômés et les opportunités que permettent une confrontation à l'écosystème de la recherche et une immersion dans ce dernier.

La CTI définit, sans a priori de hiérarchisation, un ensemble d'acquis d'apprentissage constituant un référentiel générique de toute formation d'ingénieur.

L'acquisition des connaissances scientifiques et techniques et la maîtrise de leur mise en œuvre :

- 1.** La connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associée.
- 2.** L'aptitude à mobiliser les ressources d'un champ scientifique et technique spécifique.
- 3.** La maîtrise des méthodes et des outils de l'ingénieur: identification, modélisation et résolution de problèmes même non familiers et incomplètement définis, l'utilisation des outils informatiques, l'analyse et la conception de systèmes.
- 4.** La capacité à concevoir, concrétiser, tester et valider des solutions, des méthodes, produits, systèmes et services innovants.
- 5.** La capacité à effectuer des activités de recherche, fondamentale ou appliquée, à mettre en place des dispositifs expérimentaux, à s'ouvrir à la pratique du travail collaboratif.
- 6.** La capacité à trouver l'information pertinente, à l'évaluer et à l'exploiter : compétence informationnelle.

L'adaptation aux exigences propres de l'entreprise et de la société :

- 7.** L'aptitude à prendre en compte les enjeux de l'entreprise : dimension économique, respect de la qualité, compétitivité et productivité, exigences commerciales, intelligence économique.
- 8.** L'aptitude à prendre en compte les enjeux des relations au travail, d'éthique, de responsabilité, de sécurité et de santé au travail.
- 9.** L'aptitude à prendre en compte les enjeux environnementaux, notamment par application des principes du développement durable.
- 10.** L'aptitude à prendre en compte les enjeux et les besoins de la société.

La prise en compte de la dimension organisationnelle, personnelle et culturelle :

- 11.** La capacité à s'insérer dans la vie professionnelle, à s'intégrer dans une organisation, à l'animer et à la faire évoluer : exercice de la responsabilité, esprit d'équipe, engagement et leadership, management de projets, maîtrise d'ouvrage, communication avec des spécialistes comme avec des non-spécialistes.
- 12.** La capacité à entreprendre et innover, dans le cadre de projets personnels ou par l'initiative et l'implication au sein de l'entreprise dans des projets entrepreneuriaux.
- 13.** L'aptitude à travailler en contexte international : maîtrise d'une ou plusieurs langues étrangères et ouverture culturelle associée, capacité d'adaptation aux contextes internationaux.
- 14.** La capacité à se connaître, à s'autoévaluer, à gérer ses compétences (notamment dans une perspective de formation tout au long de la vie), à opérer ses choix professionnels.



La question se pose alors des relations mutuelles et réciproques qui existent entre l'acquisition de ces compétences et le développement et la maîtrise d'une activité de recherche au sein des écoles d'ingénieurs. **En quoi cette synergie formation – recherche est-elle spécifique dans ces dernières, et comment crée-t-elle une valeur propre que chacun des deux aspects ne peut atteindre seul ?**

## Une contribution directe à la formation de l'élève-ingénieur

Le bloc de compétences lié à l'acquisition des connaissances scientifiques et techniques et la maîtrise de leur mise en œuvre est en premier lieu concerné par un lien fort entre formation et recherche, ainsi que par la conduite d'une activité de recherche et d'innovation par l'école et ses enseignants-chercheurs. Cette activité permet notamment de renforcer l'apprentissage aux sciences et technologies à très haut niveau, ce qui est directement lié **au niveau de qualification des enseignants-chercheurs à la pointe des progrès de leur discipline et de plus en plus impliqués dans des projets multidisciplinaires.**

Au-delà des connaissances, l'enseignant-chercheur contribue en effet, par son enseignement inspiré de ses activités de recherche tout comme par son encadrement des élèves-ingénieurs lors des périodes en laboratoire (projets, stages, etc.), à développer non seulement la capacité d'analyse et de synthèse des élèves-ingénieurs mais également leur aptitude à mobiliser les ressources d'un champ scientifique et technique spécifique. L'activité de recherche de l'enseignant-chercheur lui permet de proposer les contenus d'enseignement les plus à jour compte tenu de l'état des connaissances et de se placer dans un processus continu d'évolution.

Ces activités pédagogiques menées en lien ou au sein des équipes de recherche permettent directement de renforcer les capacités des élèves-ingénieurs à effectuer des activités de recherche et à mettre en place des dispositifs expérimentaux.

La compréhension et la mise en œuvre des outils et des méthodologies de la recherche, notamment le fait de mener une recherche bibliographique, est une opportunité de développer l'autonomie et la capacité à trouver l'information pertinente, à l'évaluer et à l'exploiter. C'est également pour lui la possibilité d'exercer son **esprit critique** et de remettre en cause les informations lues. L'élève-ingénieur accroît alors indéniablement **sa compétence informationnelle, une compétence fondamentale dans la société actuelle et qui se profile.**

*« UN TRAVAIL DE RECHERCHE, C'EST EN EFFET L'OPPORTUNITÉ D'APPRENDRE À SE CONFRONTER À UN PROBLÈME SANS SAVOIR SI UNE « BONNE » SOLUTION EXISTE »*

**À ce niveau, on constate une grande similarité entre les compétences d'un élève-ingénieur et celles décrites dans le référentiel de compétences issu des fiches inscrites au RNCP au titre du doctorat.**

De plus, le fait de travailler sur un sujet de recherche et dans un environnement de recherche lui faisant mettre en œuvre les méthodes propres à ces environnements va donner l'occasion

à l'élève-ingénieur **de renforcer son sens de l'analyse, sa capacité à savoir poser un problème, à poser des hypothèses et à faire des choix méthodologiques.** Il va y développer des **compétences scientifiques propres**, liées à l'approfondissement qu'il fera sur un domaine scientifique de pointe. Il va **étouffer sa capacité à échanger avec des spécialistes.**

Une fois dans la vie active, l'élève-ingénieur devra savoir composer et prendre en compte l'incertitude. Le contact avec la recherche lui permet de renforcer sa compétence. Un travail de recherche, c'est en effet l'opportunité d'apprendre à se confronter à un problème sans savoir si une « bonne » solution existe. Durant ses travaux de recherche, l'élève-ingénieur devra accepter d'échouer, apprendre la persévérance, tâtonner et trouver la motivation de rebondir. Il devra accepter de se remettre en question et développer sa résilience à l'incertitude : le problème posé n'a peut-être pas de solution, ou pas celle d'abord imaginée. Et surtout personne n'a la solution. **Cette confrontation à l'incertitude est également une formidable occasion pour l'élève-ingénieur de mettre en œuvre une analyse réflexive, qui doit lui permettre de mieux se connaître.**

Au cours de son expérience au sein d'une équipe de recherche, l'étudiant va être amené à présenter son travail à un public exigeant quant à la rigueur des résultats présentés. Il fortifiera lors de ces présentations **sa capacité à argumenter et à convaincre : des compétences clés, une fois dans la vie active.**

La valeur ajoutée de cet environnement scientifique ne se réduit pourtant pas à cette interaction lors des phases présentiels de sa formation. Dit autrement, si elle se réduit à une phase d'interaction présentielle, la synergie entre formation et recherche ne permet pas, loin s'en faut, tous les bénéfices attendus. Il convient en effet de toujours garder à l'esprit qu'une formation d'ingénieur est un processus construit et complexe, qui dépasse les simples objectifs de développement de compétences scientifiques et technologiques : former un ingénieur, c'est également former une personnalité et former à des comportements professionnels et humains.

*VIVRE AU COEUR D'UN TEL ÉCOSYSTÈME, C'EST ÉGALEMENT VIVRE AU CONTACT DES DOCTORANTS, POST DOCTORANTS OU ENCORE CHERCHEURS INTERNATIONAUX.*

Pour tirer pleinement partie d'un environnement scientifique de haut niveau, l'élève-ingénieur doit faire l'expérience en continu de cet environnement pour s'en imprégner. Il doit y vivre au sens où l'environnement scientifique et technologique de haut niveau constitue son cadre naturel de

formation, même lorsqu'il n'est pas « en cours ». Le contact naturel et régulier avec cet écosystème va tout d'abord lui permettre de mieux appréhender et comprendre ce qu'est la recherche dans toute sa diversité. Il aura ainsi l'opportunité de comprendre plus précisément ce qu'est un doctorat, un travail de thèse ou encore ce qu'est le métier de chercheur ou d'enseignant-chercheur. Cette proximité doit également lui fournir **l'occasion de rencontres et d'échanges plus ou moins formels avec tous les acteurs de la recherche** : chercheurs, personnels techniques, doctorants, professeurs, etc. Dans une école d'ingénieurs, le cadre associatif très présent est, par exemple, un moyen de faire se rencontrer tous ces acteurs autour d'un **challenge commun**.

Cette imprégnation constante permet à l'élève-ingénieur, non seulement de stimuler sa créativité, mais favorise également chez lui le réflexe d'un **lien naturel entre les laboratoires et les entreprises dès lors qu'il s'agira, une fois diplômé, de porter des projets d'innovation**. C'est ainsi l'occasion pour l'élève-ingénieur de découvrir et de **mieux appréhender une diversité d'opportunités de carrière et de projets professionnels**.

Vivre au cœur d'un tel écosystème, c'est également vivre au contact des doctorants, post-doctorants ou encore chercheurs internationaux. Cela contribue donc indéniablement à développer **l'aptitude des**

**étudiants à travailler en contexte international, à élargir leur ouverture culturelle, et développer leur capacité d'adaptation aux contextes internationaux, à se créer une culture internationale et à élargir leur capacité réflexive transculturelle.**

Sur ce point, comme pour d'autres, la contribution au développement des compétences d'un ingénieur peut également se faire, et se fait, au travers d'activités pédagogiques spécifiques et bien définies dans le temps, comme un stage en laboratoire ou lors d'un projet pour un laboratoire par exemple. L'efficacité sera néanmoins plus importante si le contact avec l'environnement est permanent et naturel, si l'élève-ingénieur le vit au quotidien. C'est clairement un catalyseur efficace des activités pédagogiques du cursus en lien avec l'activité de recherche, dont les bénéfices directs sont variés.

Durant ces mêmes périodes, l'étudiant peut avoir l'opportunité de travailler avec les équipes de recherche sur des sujets de valorisation. Il bénéficiera ainsi d'un type de contact avec l'entreprise complémentaire de celui qu'il peut avoir lors d'un stage en entreprise. Les bénéfices pour son apprentissage et son projet professionnel sont alors potentiellement multiples. L'élève-ingénieur développe sa conscience d'opportunités d'innovation pour les entreprises et la société, voire pour lui-même s'il résulte de cette expérience un projet de création d'entreprise. Ce type d'expérience, tout comme les journées de découverte et d'initiation à la recherche, sont également l'opportunité pour eux de renforcer et diversifier leur connaissance de l'environnement lié à l'innovation et au développement économique comme la découverte des pôles de compétitivité, leur rôle ou encore leur mode de fonctionnement. Dans ce contexte, l'élève-ingénieur dispose d'une opportunité de renforcer sa capacité à entreprendre et innover, dans le cadre de projets personnels ou par l'initiative et l'implication au sein de l'entreprise dans des projets entrepreneuriaux.

## Une valeur ajoutée pour l'entreprise

Au-delà des compétences propres de l'ingénieur acquises durant son cursus et qu'il pourra exprimer pleinement au sein des projets dans lesquels il sera impliqué, les entreprises peuvent tirer un bénéfice plus important d'un apprentissage qui s'appuie sur la recherche, au sens où cela a été développé dans la section précédente.

Il résulte tout d'abord et directement que l'ingénieur junior ayant bénéficié d'un tel enseignement est au fait des dernières avancées scientifiques et technologiques quand bien même il n'en est pas encore un expert, ce qu'il peut également être s'il a, par exemple, poursuivi en doctorat à la suite de son diplôme d'ingénieur. Par conséquent, l'embauche de ce dernier est une opportunité pour l'entreprise, en s'appuyant sur ce savoir fraîchement acquis, de se ressourcer sur les problématiques et les enjeux les plus récents en sciences, méthodes et technologies. Cette conscience et connaissance, alliées à celle pointue de son secteur d'activité, lui permet d'anticiper des programmes d'innovation et ainsi d'obtenir ou de préserver un avantage concurrentiel dans un marché international.

L'embauche d'ingénieurs formés par la recherche et ayant une bonne connaissance des laboratoires permet également à l'entreprise de **développer ou de renforcer sa capacité à travailler et à animer des projets aux interfaces de son cœur de métier, de recherche et d'innovation**. Ces derniers pourront faire bénéficier à l'entreprise de leur expérience de la recherche, directement ou indirectement.

Directement, en devenant **un lien direct et naturel avec les laboratoires**, ce qui permet à l'entreprise d'accroître rapidement son potentiel de développement du fait que ces ingénieurs sont déjà sensibilisés à la culture d'un laboratoire et aux différents outils de collaboration mis en œuvre par ces derniers. Indirectement, car ils sont également en capacité **d'adapter au sein de l'entreprise les compétences et connaissances acquises en laboratoire pour porter une démarche d'innovation**.

Le bénéfice pour l'entreprise ne se limite pourtant pas à un bénéfice direct en matière d'innovation, c'est-à-dire un avantage lié à l'élève-ingénieur ou le jeune diplômé ; elle peut également permettre de renforcer les liens de l'entreprise avec les écoles d'ingénieurs, ce qui peut avoir une influence positive sur le recrutement d'ingénieurs juniors par exemple. En effet, les entreprises sont des partenaires naturels des écoles d'ingénieurs. Leurs collaborateurs interviennent très régulièrement comme enseignants ou conférenciers dans les cursus. C'est l'occasion pour ces collaborateurs **d'approfondir leur connaissance et compréhension de l'environnement de recherche et d'innovation proposé par l'école**. Cette appropriation est d'autant plus facile et efficace qu'une activité de recherche est effectivement présente dans l'école et en interaction avec la formation, c'est-à-dire que l'école est elle-même un écosystème d'apprentissage et de recherche.

Cela au final permet de **multiplier les opportunités, pour les entreprises, de développer des partenariats de transfert technologique et d'innovation en soutien à leur développement économique**.

Inversement, les entreprises qui ont une activité de recherche partenariale collaborative avec les laboratoires de l'école ont l'opportunité d'intervenir dans la formation, et ainsi d'être au plus près des élèves-ingénieurs de manière régulière. Ce contact leur permet de mieux faire connaître l'entreprise, ses métiers et ses opportunités. C'est un avantage concurrentiel certain en matière d'attractivité des jeunes potentiels, que ce soit pour les stages ou pour le recrutement de jeunes ingénieurs. Certaines entreprises développent d'ailleurs une stratégie active de contact auprès des écoles, en considérant à juste titre leurs personnels impliqués dans les formations comme des ambassadeurs de l'entreprise dans les écoles.

## Une valeur ajoutée pour l'école

Une école d'ingénieurs est, par essence, un bassin de sciences et de technologies. Ces dernières sont au cœur même de la formation, et se doivent d'être également au cœur de l'école.

L'élève-ingénieur qui intègre une école s'attend à ce que l'établissement lui propose effectivement un environnement de ce type. **La présence d'une activité de recherche significative est en effet un facteur réel d'attractivité, qui contribue à attirer des très bons étudiants français, et c'est encore plus vrai pour les étudiants internationaux.**

En outre, une activité de recherche reconnue permet à l'école d'accroître **sa diversification des lieux d'enseignement** en développant, par exemple, des sessions expérimentales dans les laboratoires de recherche, permettant ainsi à l'élève-ingénieur d'être au plus proche des dernières avancées en matière de sciences et de technologies en ayant l'opportunité de travailler, lors de projets ou de stages, sur des sujets issus de programmes de recherche.



La présence d'une activité de recherche de niveau international au sein de l'écosystème de formation est également **un facteur d'attractivité incontestable pour le recrutement d'enseignants-chercheurs**. Cette attractivité donne l'opportunité d'augmenter la capacité de l'école à recruter les talents nécessaires à la formation des élèves-ingénieurs. Un rayonnement fort permet, en outre, d'offrir la possibilité de recruter des talents internationaux, qui sont non seulement un facteur d'attrait supplémentaire pour l'école mais également une valeur ajoutée pour les élèves-ingénieurs chez qui ils contribuent à donner une vision internationale de leur futur métier.

La présence d'une activité de recherche au sein d'une école d'ingénieurs est ainsi un élément indispensable d'une **politique de recrutement et donc de ressources humaines**. C'est également un élément clé de la qualité de la formation compte tenu du rôle clé des enseignants-chercheurs dans cette dernière (voir notamment la section « Une contribution directe à la formation des ingénieurs »).

D'autre part, l'activité de recherche joue un élément stratégique majeur dans **le développement et le renforcement de conventions de collaboration entre l'école d'ingénieurs et des partenaires internationaux** au profit de la formation, car il s'agit de la référence internationale en matière de coopération académique. Cette dimension internationale donne la possibilité au travers des collaborations en recherche, d'élargir le champ de ces dernières à la formation des ingénieurs en permettant de nouvelles opportunités d'apprentissage, comme des stages en laboratoire à l'international, des possibilités de séjour dans une université étrangère, d'accueil d'étudiants internationaux ou encore de double diplôme. **Un développement international significatif passe nécessairement par le développement d'une activité de recherche reconnue.**

La recherche est également **source de collaboration avec le monde socio-économique**, notamment lors des activités de valorisation, l'encadrement de thèses CIFRE ou de projets collaboratifs, de type ANR

**« UN DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL SIGNIFICATIF PASSE NÉCESSAIREMENT PAR LE DÉVELOPPEMENT D'UNE ACTIVITÉ DE RECHERCHE RECONNUE »**

ou projets européens, pour ne citer que quelques exemples. Ces collaborations permettent tout d'abord de contribuer au modèle économique global de l'école. Mais la valeur ajoutée de ce contact privilégié avec l'entreprise ne se limite pas à l'aspect économique.

Ces collaborations sont autant d'opportunités supplémentaires **d'enrichir le corps professoral d'intervenants issus du monde socio-économique** notamment dans les secteurs de recherche et développement, tout comme elles permettent **d'accroître le réseau de partenaires de l'école**.

L'ensemble renforce la proximité de l'école avec le monde socio-économique, sa capacité de professionnalisation et de nouveau son attractivité envers non seulement les élèves-ingénieurs, mais également, dans un cercle vertueux, les entreprises.

La recherche, qui, par nature, est en anticipation face aux technologies, permet à l'école d'être aussi en avance de phase sur ses programmes de formation futurs. En effet, les enseignants-chercheurs, tout comme les collaborateurs du monde socio-économiques partenaires de l'école, sont particulièrement bien placés **pour détecter les signaux faibles liés à des besoins à venir en matière de formation d'ingénieur**. La recherche alliée à une collaboration avec le monde socio-économique permet ainsi le renforcement du processus continu d'analyse réflexive de l'école sur les cursus de formation. Selon les situations, l'école, totalement maître de ses programmes de formation, pourra par exemple anticiper des besoins économiques nouveaux en faisant évoluer son cursus à partir des résultats et constats issus de

la recherche. Inversement, à partir de sa connaissance et son analyse des besoins socio-économiques, l'école pourra **développer une activité de recherche spécifique et nouvelle apte à soutenir des évolutions à venir en matière de contenu de formation.**

Il est important de relever à ce sujet que cette activité de recherche, comme toute celle à laquelle ce document se réfère, n'est pas limitée à la recherche en sciences pour l'ingénieur ou en sciences dites « dures ». **La formation des ingénieurs doit intégrer une part significative d'enseignements en sciences humaines et sociales, sciences économiques, etc.** Cette formation s'enrichira également de manière significative des dernières réflexions et avancées de la recherche dans ces domaines. À titre d'exemple, il apparaît clairement que l'apprentissage au numérique, à l'intelligence artificielle ou à la maîtrise des risques, par exemple, ne peut être complète si elle se limite aux aspects scientifiques et techniques.

## ■ Une valeur ajoutée pour les laboratoires et les enseignants-chercheurs

Les étudiants qui intègrent les écoles d'ingénieurs l'ont été au travers d'un processus sélectif. Les enseignants-chercheurs, et donc les laboratoires, ont ainsi l'opportunité au travers des trois années de formation d'avoir un contact privilégié et de proximité avec des étudiants **d'un très bon niveau académique dès l'entrée dans le cursus.**

Ce contact est pour eux l'opportunité de faire découvrir à ces derniers la richesse de leur métier et de leur activité de recherche. Ils disposent ainsi d'**un vivier d'étudiants motivés**, qu'ils peuvent encourager à travailler avec eux ou avec d'autres membres du laboratoire. L'étendue des collaborations possibles est assez large, et va du simple projet de quelques semaines à une poursuite en doctorat au sein des laboratoires de l'école, voire en collaboration avec des partenaires internationaux dans le cadre de cotutelles.

L'entreprise étant au cœur de la formation des élèves-ingénieurs, les laboratoires peuvent naturellement, et en toute cohérence avec le parcours, renforcer leurs forces vives et impliquer ces derniers dans des **projets collaboratifs avec des entreprises** qui contribueront ainsi à la valorisation des résultats de la recherche en produits et à renforcer les forces vives de ces laboratoires.

« **L'INGÉNIEUR DIPLOMÉ EST EN EFFET PARFAITEMENT ARMÉ POUR PORTER UNE CRÉATION D'ENTREPRISE** »

Ces différentes expériences de collaboration et d'échanges sont pour les enseignants-chercheurs autant d'occasions **d'exposer les programmes de recherche à un regard neuf, externe et jeune qui peuvent amener les équipes de recherche à réfléchir dans d'autres directions.** Elles

sont également autant d'occasions pour l'enseignant-chercheur de transmettre ses compétences, et pour le laboratoire de mieux faire comprendre au futur ingénieur ce qu'est un laboratoire de recherche, ce qu'est la recherche et la valeur ajoutée qu'il peut apporter à une entreprise qui cherche à innover.

Cette **promotion de la recherche et de l'innovation réalisées au sein des laboratoires** auprès d'un public large, qui ne fera forcément de doctorat, est un investissement réel pour de futures collaborations et actions de valorisation. Les écoles d'ingénieurs ont depuis longtemps introduit une sensibilisation,

voire une formation à l'entrepreneuriat, et nombreux sont les diplômés qui se lancent dans la création d'entreprise. Le contact d'un élève-ingénieur avec un laboratoire est l'occasion pour ces derniers de découvrir la richesse du potentiel entrepreneurial issu des résultats de recherche. Certains d'entre eux pourront alors **nouer une collaboration avec des enseignants-chercheurs ou des laboratoires pour créer des start-up**. Les enseignants-chercheurs pourront, par exemple, s'appuyer sur le concours scientifique ou l'un des dispositifs de la loi Allègre de 1999 sur l'innovation et la recherche pour accompagner la création. Du fait de sa formation et de l'ensemble des compétences qu'il a acquises, **l'ingénieur diplômé est en effet parfaitement armé pour porter une création d'entreprise**.

Les écoles d'ingénieurs développent par nature de nombreux partenariats avec le monde socio-économique et de nombreux diplômés sont à des postes décisionnaires clés des entreprises. Les laboratoires, au travers des enseignants-chercheurs et des directions des écoles d'ingénieurs, peuvent alors s'appuyer sur les collaborations avec les entreprises établis au niveau de la formation d'ingénieur pour développer de nouveaux axes de valorisation et/ou pour soutenir de nouvelles formes de formation pour la recherche.

## CONCLUSION

La réflexion menée montre que la synergie entre formation et recherche est source de valeurs, à de multiples niveaux et pour les différents acteurs de l'écosystème d'une école d'ingénieurs. Cette synergie est clairement synonyme d'une coopération créatrice, dont le résultat est une partie de l'école elle-même.

La formation des élèves-ingénieurs, les compétences qu'ils acquièrent et leur attractivité sur le marché du travail tirent clairement partie d'un apprentissage par la recherche qui s'appuie sur les activités de recherche menées au sein de l'école et des laboratoires. L'expérience qu'ils peuvent acquérir lors d'une immersion dans un laboratoire va leur permettre de renforcer leur compréhension des organisations, et ainsi enrichir leurs compétences relationnelles. La possibilité qui est offerte aux élèves-ingénieurs de vivre au quotidien dans un environnement dédié à la recherche et l'innovation leur permet de développer et d'ancrer en eux une sensibilité créatrice sur laquelle ils pourront s'appuyer une fois diplômés pour porter l'innovation, tant dans un cadre entrepreneurial qu'intrapreneurial.

Les laboratoires et les enseignants-chercheurs bénéficient, eux, de ces étudiants sélectionnés et académiquement de très bon niveau, qui vont pouvoir à de multiples occasions renforcer les forces vives et apporter de manière continue un regard nouveau sur les activités de recherche et les relations avec le monde socio-économique. Cet investissement au service de la formation des élèves-ingénieurs est également un investissement pour l'avenir. Ces mêmes élèves-ingénieurs ainsi sensibilisés à la recherche et conscients de son potentiel, en partie acculturés à la recherche en laboratoire, reviendront plus naturellement vers les laboratoires une fois dans l'entreprise, pour faire le lien et porter de nouveaux projets de recherche et d'innovation. Ils pourront, dans certains cas, et quand bien même ils n'auront pas fait de doctorat, porter des projets de développement de start-up pour valoriser les résultats de la recherche. Il y a là un potentiel qui reste clairement à exploiter.

**« LA RECHERCHE DONNE  
MULTIPLES OPPORTUNITÉS  
POUR DÉVELOPPER LES  
PARTENARIATS DE L'ÉCOLE »**

L'entreprise est également une grande gagnante de cette synergie entre formation et recherche. Certes, l'apprentissage par la recherche permet à l'entreprise de recruter des ingénieurs au fait des dernières avancées scientifiques, technologiques et conscients des enjeux sociaux et humains liés à ces dernières,

mais le bénéfice ne s'arrête pas là. L'ingénieur formé par la recherche sera un vecteur efficace pour favoriser les liens des entreprises avec l'ensemble de l'écosystème d'innovation, permettant à l'entreprise de développer ou de conserver un avantage concurrentiel sur ses marchés au niveau international. Par le biais des activités de valorisation ou de projets partenariaux avec les laboratoires, les entreprises ont l'opportunité de participer plus activement à l'apprentissage des jeunes ingénieurs en étendant les collaborations à la formation. Ceci leur permet de renforcer une présence plus régulière et plus proche de ces derniers, ce qui ne pourra qu'avoir un impact positif sur le recrutement de leurs futurs talents.

Enfin, grâce au lien réciproque entre formation et recherche, les écoles répondent aux missions qui leurs sont confiées. Ses ingénieurs diplômés sont formés à un haut niveau scientifique et technologique. L'environnement qui le permet, les laboratoires, les équipes de recherche et les plateformes technologiques, sont de formidables atouts pour attirer les futurs élèves-ingénieurs, tout comme les entreprises. La recherche donne de multiples opportunités pour développer les partenariats de l'école,



tant avec des universités étrangères qu'avec les entreprises. Cette activité de recherche est un vecteur stratégique majeur de l'internationalisation de l'école et de sa capacité à porter un programme de formation professionnalisant reconnu par le monde socio-économique. Enfin, afficher une réalité forte d'un lien entre la formation des ingénieurs et une activité de recherche associée à l'école, c'est également affirmer sa place d'acteur plein et entier au sein de la dynamique universitaire internationale pour laquelle la recherche est un élément fondateur incontournable.

La synergie entre formation et recherche est ainsi une réalité complexe, ayant des implications multiples à tous les niveaux stratégiques d'une école d'ingénieurs. Elle est un élément stratégique essentiel et incontournable pour qu'une école d'ingénieurs puisse continuer de former les ingénieurs de haut niveau sur lesquels le monde socio-économique, et plus largement la société, pourront continuer à s'appuyer pour prospérer et affronter les défis majeurs qui se posent à nous.

## Une contribution directe à la formation de l'élève-ingénieur

### Exemple de Grenoble INP – ENSIMAG : introduction à la recherche en laboratoire

Depuis 2008, le module « Introduction à la recherche en laboratoire » (IRL) est un des exemples illustrant l'adossement des formations d'ingénieurs à la recherche. Ce module permet aux étudiants en 2<sup>e</sup> année de cycle ingénieur de participer à une activité de recherche en laboratoire durant le 4<sup>e</sup> semestre pour un volume de trois ECTS. Chaque étudiant est encadré par un chercheur d'un des laboratoires co-pilotés avec Grenoble INP-Ensimag. L'étudiant travaille sur un sujet précis qu'il présente sur une page web, et dont finalement il communique les résultats lors d'une soutenance orale et dans un rapport écrit au format d'un article de recherche. L'objectif prioritaire de ce module est la formation de l'élève-ingénieur, non pas à la recherche, mais par la recherche en développant son esprit critique : positionnement du problème posé par rapport à l'existant, reformulation de la question dans un cadre propice à la construction de solutions efficaces, validation et comparaison à l'état de l'art, communication. La participation est soumise à acceptation de la part du responsable de 2<sup>e</sup> année et du responsable du module IRL. Le sujet retenu fait l'objet d'un contrat entre l'étudiant, le responsable du module et le tuteur en laboratoire. Ainsi, en dix ans, 284 élèves-ingénieurs ont validé ce module, autant d'histoires qui témoignent de la synergie entre enseignement supérieur et recherche dans les écoles d'ingénieurs.

### Exemple de l'ENSCMu : les ProjetsLab

Depuis 2016, les étudiants en 2<sup>e</sup> année de cycle ingénieur à l'ENSCMu ont l'occasion d'interagir avec des enseignants-chercheurs, chercheurs, doctorants et industriels dans le cadre de projets appelés ProjetsLab. Les sujets abordés peuvent aller d'une étude bibliographique, à une étude de faisabilité ou à une aide ponctuelle dans le cadre d'un doctorat, etc. L'idée est de faire découvrir les différentes facettes de la recherche aux futurs ingénieurs. Une convention d'accueil permet aux étudiants d'aller dans les laboratoires de manière ponctuelle (après les cours, les jeudis après-midi, pendant les vacances, etc.). Les projets commencent début novembre et s'achèvent au mois d'avril, avant le début du stage recherche obligatoire. Les étudiants qui le souhaitent peuvent également poursuivre les études entreprises dans le cadre des ProjetsLab lors de ce stage recherche. À l'issue du travail, les étudiants présentent leurs résultats (pour les sujets non confidentiels) dans le cadre d'une journée, à laquelle sont invités l'ensemble des personnels des laboratoires, le vice-président recherche et formation doctorale de l'université de Haute Alsace (UHA), ainsi que les industriels locaux. Un prix, décerné par un jury composé des directeurs des laboratoires du campus Illberg de l'UHA et financé par un industriel ou la section locale de la Société chimique de France, récompense la meilleure communication.

## Exemple de Centrale Nantes : le projet Centrale Nantes Saildrone

L'association étudiante Centrale Nantes Saildrone a pour objectif de faire traverser l'Atlantique à un drone voilier en entière autonomie. Le projet de Centrale Nantes Saildrone s'inscrit dans l'optique du Microtransat challenge. Ce concours international a pour but de dynamiser la recherche dans le secteur des drones voiliers, avec pour objectif d'être les premiers à faire traverser l'océan Atlantique à son drone voilier. Celui-ci doit être entièrement autonome, son unique moyen de propulsion étant sa voile. Ce défi scientifique permet aux élèves-ingénieurs membres de l'association d'explorer de nombreux domaines et de développer un drone qui sera capable d'effectuer des relevés océanographiques. Des essais dans le bassin des carènes de Centrale Nantes ont permis d'étudier le comportement du drone voilier sur l'eau avec l'aide de l'équipe technique et des chercheurs du bassin au LHEEA (laboratoire en hydrodynamique énergétique et environnement atmosphérique). Des essais en statique ont été réalisés, ainsi que des tests dans le bassin de houle. Le système de trajectographie optique fourni par le bassin de houle a permis de mesurer les angles et la position du bateau tout au long des tests.

## Exemple de Sup'Biotech : un cursus construit sur un enseignement par la recherche

Pour pouvoir participer à la filière industrielle, l'élève-ingénieur en biotechnologies doit bénéficier d'une formation nourrie par la recherche, durant laquelle la démarche scientifique est expliquée et appliquée pour l'accompagner vers une mise en pratique de ses compétences « pour la recherche ». 10 % des ingénieurs diplômés de l'école continuent en doctorat.

### **Initiation aux savoir-faire propres à la recherche scientifique**

Tous les étudiants sont initiés aux métiers de la recherche au travers de la présentation des programmes de recherche internes de l'école, des projets d'enquêtes-métier sur la profession d'ingénieur R&D et des enseignements de méthodologie destinés à apprendre à dégager une problématique, rechercher et citer des travaux. Un exercice d'analyse d'article scientifique et des travaux pratiques, développés et enseignés par des enseignants-chercheurs en activité, permettent de familiariser les étudiants avec l'exigence quotidienne du travail scientifique.

### **Apprentissage du savoir-être d'un ingénieur R&D**

Au début du cycle ingénieur, les étudiants effectuent leur première période de stage dans un laboratoire de recherche scientifique, où ils peuvent appliquer les bases méthodologiques et les enseignements pratiques sous la supervision d'un chercheur. Durant la première année du cycle ingénieur, les étudiants peuvent choisir un cours d'initiation à la recherche, appelé « électif » au cours duquel la démarche allant de l'invention au produit est décrite, et durant lequel ils rencontrent les anciens diplômés travaillant dans le domaine de la R&D et décrivant leur parcours et les difficultés rencontrées. La seconde période de stage est l'occasion de mettre en pratique leurs acquis théoriques sur un projet pratique.

### **Mise en autonomie / Application**

Les étudiants sont appelés, en 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> année du cycle ingénieur, à suivre le programme « Fil Rouge », qui laisse la liberté aux étudiants d'utiliser les laboratoires et les ateliers de l'école pour développer un projet sur quatre semaines. La réflexion sur la problématique, la préparation des protocoles, les commandes et l'évaluation budgétaire, ainsi que la conduite et la présentation des résultats sont réalisés en toute autonomie par les étudiants, sous la supervision de tuteurs enseignants-chercheurs qui les accompagnent. Les deux jalons essentiels de ce programme reposent sur la présentation d'un poster scientifique et l'écriture (incluant la revue par les pairs) d'un article scientifique dans le journal interne «Sup'Biotech Projects».

## **Une valeur ajoutée pour l'entreprise**

### **Exemple de Toulouse INP-ENSIACET : manipulation sur un outil d'extraction au CO2 supercritique**

Une équipe du laboratoire associé à l'ENSIACET travaille depuis deux décennies sur la technologie du CO2 supercritique. Ce gaz inerte à haute pression permet de remplacer les solvants organiques dans les procédés industriels, diminuant ainsi considérablement leur dangerosité et leur impact environnemental. Cependant, sa mise en œuvre fait apparaître certaines difficultés technologiques, du fait de l'utilisation de la haute pression et scientifiques, car la thermodynamique des mélanges dans ces conditions reste complexe. Le développement de cette technologie dans l'industrie reste freiné, tant par les difficultés technologiques et scientifiques que par une barrière « psychologique » liée à l'utilisation de hautes pressions. Fort du savoir-faire technique du laboratoire, un outil d'extraction au CO2 supercritique a été spécialement conçu, en collaboration avec un équipementier spécialisé, pour fournir un appareillage adapté à l'utilisation par des étudiants. Proposer cette technologie, dans son application pratique, à des élèves-ingénieurs est un excellent moyen de diffusion dans le milieu professionnel. Déployé à l'Atelier interuniversitaire de génie des procédés (AIGEP), l'appareil est notamment utilisé par les élèves-ingénieurs de l'ENSIACET, l'ENSAT et l'INSA Toulouse afin d'extraire des huiles essentielles, de l'huile à partir de graines de tournesol ou délipider des produits alimentaires. Ils manipulent ainsi un procédé industriel « en miniature », respectant des critères de biocompatibilité et de développement durable, avec le résultat concret d'un produit réel en fin de manipulation. Cette concomitance d'un laboratoire maîtrisant une technologie jusqu'à son application pratique et d'une unité d'enseignement d'ingénierie a permis de proposer pour la première fois cette technologie en enseignement, où théorie et pratique sont déclinées.

### **Exemple de Télécom Saint-Étienne, l'ENISE et des Mines Saint-Étienne : innovation et développement endogène des entreprises**

Les trois écoles d'ingénieurs participent depuis plusieurs années au programme IDEE (Innovation et développement endogène des entreprises), lancé par l'UIMM Loire, avec le soutien du fonds F2i (Fonds pour l'innovation dans l'industrie). Le programme IDEE a



pour objectif de soutenir les PME-PMI dans leur démarche d'innovation et de favoriser l'interpénétration entre la recherche réalisée par les académiques et l'innovation au sein des entreprises.

Concrètement, les entreprises soumettent aux écoles des propositions de projet qui identifient alors les meilleures ressources et modalités pour accompagner le projet. Cela passe très généralement par la mise en place d'équipe projet composée d'élèves-ingénieurs et d'un ou plusieurs enseignants-chercheurs apportant l'expertise et les travaux de R&D nécessaires. La prise en charge financière des coûts de projet est réalisée par l'entreprise, et accompagnée par le fonds F2I. Ceci permet de dynamiser l'innovation des entreprises, en permettant à des PME de participer au montage de projets de R&D et aux enseignants-chercheurs des écoles de réaliser des projets au contact direct des entreprises. Le lien entre formation et recherche est intrinsèque, puisque la principale force de production des projets est réalisée aux travers d'étudiants, réalisant soit leur projet de fin d'études, soit un projet industriel inséré dans le cursus.

Ainsi, la trentaine de projets IDEE réalisés sur cinq années, a permis de créer des passerelles entre les industries, l'enseignement supérieur et la recherche.

## Une valeur ajoutée pour l'école

### **Exemple de l'École de biologie industrielle (EBI) : une formation à l'analyse sensorielle issue de la recherche**

L'EBI a mis en place un laboratoire d'évaluation sensorielle en 1996, afin d'appréhender cette science qui apparaissait comme stratégique pour l'innovation. Dès son démarrage, cette recherche a élargi la vision des étudiants qui participaient activement aux travaux du laboratoire. Puis, la montée en connaissance de l'équipe pédagogique a permis d'envisager rapidement un premier enseignement en analyse sensorielle en 1<sup>re</sup> année du cycle ingénieur, suivi quelques années plus tard d'un cours niveau supérieur en 2<sup>e</sup> année de cycle et du développement de nombreuses formations continues. L'enseignement est suivi en 1<sup>re</sup> année de cycle ingénieur par plus de 75 % d'une promotion. La majorité de ces étudiants participent ensuite aux activités sensorielles de l'EBI, ce qui fait qu'aujourd'hui l'EBI a le plus grand panel expert (200 panelistes) de tout l'enseignement supérieur, et bien supérieur à de nombreuses entreprises. L'activité analyse sensorielle est réalisée dans un écosystème permanent de synergie entre recherche et formation, ce qui participe largement à l'attractivité de l'EBI tant pour son recrutement que pour le recrutement de ses étudiants dans l'industrie. Cette thématique permet un rayonnement national et international, ce qui s'exprime par des collaborations universitaires internationales ou industrielles. Ces partenariats se traduisent par des projets de niveau master et doctorat, et par conséquent des communications dans des journaux avec un fort impact factor et la présence à des congrès internationaux.

Enfin, les entreprises qui collaborent avec l'EBI ou qui recrutent des ingénieurs EBI voient leurs compétences augmentées en expertise et innovation et peuvent faire participer leurs équipes à des projets transversaux au cœur même de la R&D.

## Une valeur ajoutée pour les laboratoires et les enseignants-chercheurs

### Exemple de Centrale Lille : le « track international recherche »

Introduit dans le cadre du cursus, le « track international recherche » a pour objectif de faire vivre aux étudiants une expérience significative en recherche, dans l'optique de mener un plus grand nombre d'élèves de l'école à faire un doctorat après leur cycle ingénieur. Cette formation par la recherche se déroule sur un an et demi, avec une période à l'international d'un semestre minimum dans une équipe partenaire du laboratoire. L'élève-ingénieur travaillera sur un thème donné en étant suivi par un enseignant-chercheur de l'école qui l'intégrera à son équipe de recherche. S'il souhaite poursuivre en doctorat à l'issue de son cursus, l'enseignant-chercheur mettra tout en œuvre pour lui proposer une opportunité de poursuite sur un sujet en lien avec les thèmes traités pendant le track ou, le cas échéant, sur un autre sujet d'intérêt.

### Exemple de CentraleSupélec : un parcours axé sur les sciences et la recherche sur trois ans

CentraleSupélec propose depuis septembre 2013 un parcours axé sur les sciences et la recherche, qui accueille entre 20 et 30 étudiants par promotion. Il sera déployé à la rentrée 2018-2019 dans l'ensemble du nouveau cursus CentraleSupélec, avec un effectif cible de 40-45 élèves-ingénieurs. Le parcours est basé sur la conduite d'un projet de recherche sur trois ans au sein d'un laboratoire. Le cursus est spécifiquement aménagé. Le séjour à l'international est intégré au projet de recherche. Chaque élève du parcours choisit un référent scientifique, personne ressource principale dans le cursus. Sous sa supervision, l'élève se forme aux métiers de la recherche et à la conduite d'un projet grâce à son immersion en laboratoire, à travers une relation du type « maître-apprenti ». À l'issue des trois années dans le parcours, l'élève se voit attribuer le label ECP-R sur son diplôme d'ingénieur, témoignant de son implication dans le monde de la recherche et qui valorise cette expertise pour ceux qui souhaitent s'engager dans un doctorat ou intégrer un centre de R&D en entreprise. Chaque étudiant a une place attirée dans son laboratoire, avec des moyens et un environnement appropriés pour la bonne réalisation de son projet. Les évaluations ont lieu tous les six mois, à travers soutenances et rapports de forme diverse. Un comité de suivi multidisciplinaire assure les jurys. Ses membres ont également un rôle de conseil.

### Exemple de Polytech Montpellier : des stages et des projets en laboratoire

L'immersion de l'école au plus près des laboratoires de recherche favorise naturellement le lien avec la recherche et les opérations de valorisation orientées vers le développement économique. Ainsi, en 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> année de cycle ingénieur, pour plus de 50 % des étudiants, les stages se font directement dans les laboratoires de recherche sur le site ou au niveau national, voire international. Dans le cadre des projets de dernière année de cycle, 25 % des projets sont en lien avec des activités de recherche, souvent dans le cadre de programmes collaboratifs (ANR, Europe, etc.).

- Le projet Robusta (conception et lancement d'un nano-satellite) a permis à une cinquantaine d'étudiants de Polytech de travailler sur des projets liés au spatial. Le succès du projet de nano-satellite a permis la mise en place sur l'université de Montpellier du Centre spatial universitaire et de la Fondation Van Allen (dans laquelle plusieurs grandes entreprises sont impliquées, telles qu'Airbus, Intespace, 3DPlus ou des centres d'excellences JPL/NASA, CNES), pour lesquels Polytech est membre du conseil d'administration. Ce projet a permis l'engagement de Polytech Montpellier dans plusieurs programmes de recherche avec des laboratoires. Le lancement du 2e nano-satellite de l'université de Montpellier a été couronné de succès et permet aujourd'hui de consolider le lien recherche – formation, notamment en analysant les données renvoyées par le nano-satellite (robustesse des composants électroniques, analyse de données environnementales).
- Autour de la société Cyleone, dont les locaux sont au sein de l'université de Montpellier, c'est une quinzaine de projets étudiants et une dizaine de stages qui ont été réalisés, avec le support de laboratoires, pour arriver à un prototype de drone pour observer l'environnement (agriculture, déperdition thermique de bâtiments, etc.). Un programme de recherche est en cours de lancement pour l'observation d'environnements critiques.
- En hébergeant la société Dunetec au sein de l'école, projet innovant soutenu par le Labex NUMEV en lien avec le laboratoire LMGC (mécanique) et HSM (HydroSciences), plusieurs étudiants et enseignants ont pu participer à un prototype de dessalement d'eau de mer par évaporation.

### **Exemple de l'INSA Toulouse : le parcours pluridisciplinaire « Innovative Smart System »**

On assiste aujourd'hui à un développement exponentiel des objets connectés avec un taux de progression estimée de 20 à 30 % sur les dix années à venir. Dans ce contexte, l'INSA Toulouse a mis en œuvre, depuis plus de trois ans, un parcours nommé « Innovative Smart System » (ISS) qui vise la mise en place d'une formation centrée sur l'Internet des objets en dernière année d'école d'ingénieurs, et regroupant des étudiants de différentes spécialités ingénieur. Pour cela, cette formation aborde les aspects nécessaires à l'introduction d'innovations dans ce secteur : les aspects sociétaux, les techniques d'innovation (TRIZ, séances de créativité, etc.), l'entrepreneuriat, les « smart devices » avec les aspects de fabrication des capteurs/actionneurs, de prototypage rapide en électronique, les mécanismes de communication et architecture de l'internet des objets (Intergiciel et services), l'analyse et le traitement des données issues de ces systèmes avec une connexion cloud et big data. L'ensemble est validé par une réalisation innovante (projet) mettant en œuvre les compétences pluridisciplinaires des étudiants.

L'innovation est présente dans les composantes de cette formation : lien très étroit entre l'enseignement et les activités de recherche et les laboratoires du site, une évaluation innovante par portfolio, une formation axée sur la génération d'idée et de créativité, avec notamment des enseignements spécifiques mis en place (comment générer des idées et

résoudre un problème de façon créative, mener une analyse systémique sur l'objet d'étude, maîtriser des outils de modélisation et de résolution de problèmes inventifs, construire et analyser l'évolution technologique du système étudié), la participation à des événements internationaux. Un hackathon a ainsi été organisé dans le cadre des rencontres Emtech avec le MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) et sponsorisé par Intel, Orange et la French Tech. Les étudiants ont remporté deux prix : surveillance des agressions par intelligence numérique SAINT (3<sup>e</sup> prix), Eco-food - stop au gaspillage alimentaire (4<sup>e</sup> prix).

Les étudiants sont alors mis dans des dispositions qui leur permettent d'être des acteurs actifs, passionnés, riches de leur diversité dans la connexion entre les résultats préindustriels issus des laboratoires de recherche et leurs utilisations par des acteurs industriels et publics. Les sujets du projet transversal sont issus de problématiques posées par des industriels, des laboratoires de recherche, des collectivités ou bien encore à l'initiative des étudiants s'il y a, à la fois un potentiel en innovation et en commercialisation.

- En lien avec les activités de recherche : projet FUI autour de nouveaux services pour les véhicules connectés (projet S2C2), projet H2020 avec la métropole de Toulouse et Tisséo autour de la mobilité, de l'économie d'énergie dans la ville, etc.
- Proposés par des industriels : développement d'un compteur Geiger connecté, d'un prototype de capture d'émotions, d'une application à base de caméra connectée, etc.
- Proposés en lien avec les collectivités : amélioration de la fluidité du trafic urbain, développement d'une plateforme LoRa pour collecter les données de capteurs de gaz déployés sur le site. D'un vélo connecté embarquant des capteurs de gaz pour analyser l'atmosphère de la ville et la cartographier, du suivi d'un parc vélo de type VeloLib, etc.

La formation s'est construite autour d'une équipe pédagogique. Ceci a permis, dès le montage, de fédérer plusieurs départements de formation et centres de l'INSA Toulouse (génie électrique et informatique, physique et centre des sciences humaines), de s'appuyer sur l'expertise du Centre d'innovation et d'ingénierie pédagogique et surtout d'avoir l'appui de deux laboratoires de recherche.

Un travail important avait été réalisé en amont pour le transfert de résultats de recherches dans la formation. On peut noter notamment la création d'un stage d'élaboration de capteurs de gaz à base de nanoparticules à l'AIME. Ce transfert en salle blanche a permis de donner une approche pratique d'un procédé de nanotechnologie (la diélectrophorèse) à l'état de l'art de ce qui se fait dans le domaine des capteurs. Il nous permet alors de sensibiliser les étudiants :

- aux avantages des nanotechnologies pour réaliser des capteurs qui dépassent les performances actuelles des autres capteurs ;
- aux exigences et contraintes liées à la synthèse et à la manipulation de nanoparticules préparées par voie chimique (solutions colloïdales) ;
- à leur intégration de manière contrôlée en microélectronique ;
- aux caractérisations électriques des applications concrètes de nanotechnologie : par exemple l'évaluation de capteurs de gaz (appui d'une subvention par le programme ANR

Nanolnnov à hauteur de 30 k€) ;

- au transfert de résultats de recherche dans le domaine de l'OM2M (architecture pour l'internet des objets, etc).

Ensuite, la volonté de lier recherche et industrie a permis l'établissement de partenariat avec les laboratoires de tutelle de l'INSA et des industriels majeurs du domaine des objets connectés. Ceci se concrétise par exemple avec :

- la création d'un mini-lab commun entre la société Intel, l'INSA et le laboratoire LAAS-CNRS dans le domaine des réseaux du futur pour les objets connectés ;
- la coopération avec Orange pour proposer de nouveaux usages de leur futur réseau LoRa pour les objets connectés ;
- des interventions de start-up dans le cadre de projets afin de proposer des solutions innovantes ;
- des rendez-vous avec des équipes de la métropole de Toulouse pour comprendre les besoins et solutions envisageables dans le cadre d'un engagement sociétal.

### **Bénéfices «directs» pour l'élève-ingénieur :**

Les étudiants sont en relation directe avec les derniers développements des enseignants-chercheurs qui constituent l'ossature de la formation. Ils ont alors une formation à l'état de l'art et appréhendent des dispositifs expérimentaux de pointe (stage AIME, salle SDR au DGEI). Cela leur permet d'être en avance sur les développements industriels et grâce à la motivation et responsabilisation que crée l'évaluation par portfolio, être en capacité de créer leur « *business* » dès la sortie de l'école. Il s'agit de créer donc les conditions pour lancer des start-up à partir des résultats de recherche. De plus, l'aspect pluridisciplinaire leur permet l'élargissement de leur capacité réflexive transculturelle et de développer largement leur esprit critique.

### **Bénéfices pour l'entreprise :**

De nombreux sujets des projets transversaux sont issus d'entreprises du secteur qui viennent chercher dans cette formation des étudiants agiles et également nouer des partenariats avec les enseignants-chercheurs. Cela leur permet de développer des partenariats ou du transfert technologique à partir de ses collaborateurs intervenant dans les filières d'ingénieur, de conserver une capacité à travailler et à animer des projets aux interfaces cœur-métier/ R&D/ Innovation, de trouver un ressourcement important sur les problématiques et les enjeux les plus récents.

## **Bénéfices pour l'école :**

Cette formation permet de développer un environnement attractif pour les élèves-ingénieurs et les enseignants-chercheurs en France et à l'international. Elle a permis d'associer deux autres écoles d'ingénieurs (ISIS à Castres et INP-ENSEEIH à Toulouse), et également de coupler un master recherche dès la rentrée 2016 en collaboration avec l'université Paul Sabatier et enfin d'être soutenue par l'université fédérale de Toulouse Midi Pyrénées. À noter également, la création d'un mastère spécialisé sur les bases de cette formation.

## **Bénéfices pour les laboratoires et les enseignants-chercheurs :**

Cette formation permet d'attirer des élèves-ingénieurs motivés pouvant contribuer sur des sujets spécifiques. Plusieurs étudiants ont poursuivi en doctorat. L'organisation associée d'une journée en juin chaque année participe à promouvoir les recherches et innovations auprès d'un public large, avec plus de 200 personnes recensées pour l'édition 2017. Les étudiants sont en condition pour créer des start-up à partir des résultats de recherche. L'approche par portfolio permet d'enseigner à l'état de l'art puisque le programme n'est plus figé mais peut évoluer au gré des recherches bibliographiques réalisées par les étudiants. Cela leur permet de participer aux contenus des enseignements en liaison avec les avancées en recherche et pousser les enseignants à réfléchir dans d'autres directions. Cette formation est également un moteur qui permet de nouer des collaborations et des partenariats avec les entreprises et ainsi poser des projets de recherche communs (ANR par exemple). Le pilotage de l'activité de recherche est ainsi un élément primordial directement lié à la qualité et la spécificité de la formation de l'ingénieur diplômé par une école ou une formation donnée.



**Directeur de la publication :**

Emmanuel Duflos

**Comité rédactionnel :**

commission Recherche et innovation de  
la CDEFI.

**Avec la participation des écoles  
d'ingénieurs :**

Centrale Lille

Centrale Nantes

CentraleSupélec

EBI

ENISE

ENSCMu

Grenoble INP-ENSIMAG

INSA Toulouse

Mines Saint-Étienne

PolyTech Montpellier

Sup'Biotech

Télécom Saint-Étienne

Toulouse INP-ENSIACET

**Création graphique et mise en page :**

Delphine Duverger et Valeria Marro

**Perspectives ingénieur numéro 1**

©CDEFI 2019