

PROJET D'INSTITUT DE MÉCANIQUE ET D'INGÉNIERIE D'AIX-MARSEILLE

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

La mécanique au sens large est un domaine en pleine évolution. Longtemps focalisée sur l'étude des solides ou des fluides simples, la mécanique connaît aujourd'hui un fort renouveau abordant des milieux de plus en plus complexes grâce au développement de nouveaux outils de modélisation et simulation. Des domaines d'applications de plus en plus vastes sont concernés, couvrant toutes les échelles, s'étendant de la biologie, des sciences de la terre, aux procédés industriels. En ce sens, la mécanique est devenue une science pluridisciplinaire, ce qui nécessite de renouveler radicalement ses approches et ses concepts pour aborder les défis du futur. Aix-Marseille Université possède l'une des plus grandes concentrations françaises de chercheurs dans ce domaine, en majorité rassemblée sur un seul site (technopôle de Château Gombert), et couvrant un large spectre de compétences avec une forte reconnaissance internationale. Les forces en enseignement sont également présentes avec plusieurs masters universitaires et deux écoles d'ingénieurs (Centrale Marseille et Polytech Marseille). La création d'un institut est une réelle opportunité de concrétiser l'action conduite depuis plusieurs années pour fédérer cette communauté (fédération Fabri de Peiresc, labex Mécanique Et Complexité), et pour insuffler un réel élan pour la recherche et l'innovation. Un institut permettrait également de faire progresser les liens avec les formations et de consolider notre attractivité. L'institut de mécanique et d'ingénierie offrirait les conditions pour fortement amplifier la dynamique actuelle, et faire de Marseille un centre incontournable tant au niveau académique qu'industriel en mécanique, modélisation physique et ingénierie.

Les grands enjeux

Il est peu de domaines scientifiques ne nécessitant pas la description d'écoulements, de déformations, la modélisation de flux, de transferts, de propagation d'ondes... La mécanique en tant que domaine scientifique développe les outils et concepts permettant d'aborder ces questions et se retrouve donc impliquée dans de nombreux autres domaines scientifiques auxquels elle apporte son expertise, et qui en retour nourrissent le développement de nouveaux concepts et méthodologies.

Nous avons identifié 3 grands enjeux applicatifs en plein essor dans nos laboratoires et qui constitueront le socle des recherches du futur institut: l'industrie, les milieux naturels et les milieux vivants.

Eléments clés du site

4 Laboratoires : IRPHE, IUSTI, LMA, M2P2

200 chercheurs
150 doctorants
30 postdoc et chercheurs non permanents
50 ingénieurs, techniciens

Formations (diplômés / an) :

120 en masters à l'UFR Sciences
140 à Polytech Marseille
50 à l'ECM

L'industrie du futur

Le premier enjeu que nous souhaitons mettre en avant est la contribution de notre communauté au développement de l'innovation et des procédés industriels. De l'industrie du bâtiment à la micro-électronique, du nucléaire au développement de nouvelles éoliennes, de l'aéronautique aux transports terrestres, de la conception de nouveaux matériaux sur demande au développement d'instruments de musique, les challenges pour la communauté sont immenses. Les verrous sont principalement de deux natures: le multi-physique et le multi-échelle. Le multi-physique, car les procédés industriels couplent des problèmes de mécanique des fluides, de mécanique des solides, des réactions chimiques, des transferts de chaleur, des changements de phases, de l'électromagnétisme (par exemple quand des plasmas sont en jeu), des propagation d'ondes. Optimiser ou développer des nouveaux processus industriels nécessite de comprendre ces phénomènes, leur couplages et les dynamiques qui en résultent en les étudiant expérimentalement, théoriquement, numériquement souvent dans des configurations simplifiées.

Le multi-échelle est la seconde source de complexité. Les matériaux sont d'une part de plus en plus hétérogènes, composés de sous partie de tailles et propriétés très différentes, mais les installations industrielles nécessitent également l'em-

boitement de phénomènes se déroulant à toutes les échelles.

Apporter une compréhension physique, une description précise, des méthodes innovantes de caractérisation sont les enjeux que nous souhaitons relever au sein de l'institut en développant notamment fortement notre politique partenariat (voir chapitre sur les relations avec le monde socio-économique). Les domaines d'applications avec lesquels nous avons déjà établi de fortes collaborations sont l'aéronautique, le transport, l'énergie, les matériaux, l'environnement.

Les milieux naturels

Un second domaine en plein essor au sein de notre communauté concerne les milieux naturels, couvrant les problématiques d'environnement, de géophysique interne ou externe, d'astrophysique. Un premier enjeu concerne les questions sur la compréhension des dynamiques stellaires et planétaires : à grande échelle, la formation des systèmes planétaires et le fonctionnement des étoiles et des planètes peut s'assimiler à des écoulements sujets à des instabilités; à plus petite échelle on rencontre toutes les questions liées à la dynamique atmosphérique (météo), la dynamique marine et la propagation des ondes dans la croûte terrestre (sismicité) ou le milieu marin. Les questions environnementales sont également au cœur de nombreux projets: gestion des déchets, des boues, gestion des risques (incendie, avalanches, tsunami), les problèmes de mélange et transports de polluants, d'énergies renouvelables (éolien, solaire...), d'écoulements dans les villes...

Tous ces questions sur des systèmes souvent de grandes tailles peuvent être appréhendées d'une part par les outils de similitudes développés en mécanique et permettant de reproduire la dynamique dans des expériences de petites tailles pertinentes (par exemple dans le cas des écoulements internes des planètes), d'autre part par les outils de simulations puissants développés au sein de notre communauté. Ces projets sont développés en étroite collaboration avec des géophysiciens.

Les milieux vivants

Les organismes vivants se développent et évoluent en étant constamment soumis à des contraintes mécaniques. Jusqu'à très récemment, la biologie s'est intensément développée sur les aspects biochimiques et génétiques, délaissant souvent les couplages mécaniques. Introduire et comprendre le rôle de la mécanique dans la dynamique du vivant devient un enjeu majeur. A

l'échelle cellulaire, des mécanisme de mécano-sensitivité sont impliqués dans la croissance, la morphogenèse, l'apparition de mouvement spontané. A l'échelle des organes, dans les voie aériennes de la respiration des mammifères, dans la circulation sanguine, dans le transport d'eau et la croissance dans les plantes, la compréhension des écoulements, des déformations, des instabilités et des transferts sont nécessaires. Les mécanismes d'auditions, les études des stratégies de locomotions sont également un vaste champ d'études. Enfin le monde du vivant ouvre d'immenses défis de méthodes de caractérisation (imagerie ultra sonore, caractérisation des tissus et matériaux biologiques, développement de capteurs spécifiques...).

Dans toutes ces questions, de nombreux chercheurs du site travaillent en étroite collaboration avec des biologistes et médecins, apportant expertise en modélisation et/ou caractérisation. Ces projets de recherche vers le monde du vivant participeront sans nul doute à des avancées en biologie et en médecine, mais permettrons également le développement de nouveaux concepts en mécanique, et d'innovations en ingénierie, dans une démarche de biomimétisme.

Pour résumer, que ce soient pour aborder les enjeux que posent la compréhension des milieux vivants, des milieux naturels ou bien développer de nouveaux processus industriels, les méthodes d'investigation sont les mêmes et s'appuient sur des savoirs-faire et compétences modernes en mécanique, à savoir :

- les concepts génériques d'instabilités, d'ondes, d'homogénéisation, de transferts qui s'appliquent à tous les systèmes ;
- les connaissances en matière de couplages multi-échelles et multi-physiques (thermique, magnétique, etc.), qui existent de manière semblable dans tous les différents domaines ;
- les connaissances en matière de modélisation (mise à l'échelle, simulation numérique, paramétrisation).

Contour du projet

Nous proposons la création de l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie d'Aix-Marseille avec

- un contour recherche de la globalité des 4 unités IRPHE, IUSTI, LMA et M2P2, très majoritairement regroupés sur le site du technopôle de Château Gombert,

- un contour enseignement de 4 masters de l'UFR Sciences (Physique, Mécanique, Génie Mécanique, Génie des Procédés), des formations d'ingénieurs des départements Mécanique - Energétique et Génie Civil de Polytech Marseille, et des formations de Centrale Marseille, en particulier des options MECA et GREEN du cycle d'ingénieurs et l'école doctorale ED 353 ainsi que la partie Génie des Procédés de l'école doctorale ED 251.

Le projet d'institut a trois objectifs :

- amplifier la dynamique de mise en cohérence de la recherche des 4 laboratoires afin d'améliorer la capacité à mettre en commun des expertises sur des actions de recherche notamment autour des dynamiques complexes et des milieux hétérogènes qui constituent des axes forts et très visibles du site,
- renforcer le lien formation-recherche et proposer des formations reflétant la diversité de la recherche présente dans l'institut,
- renforcer le lien avec le monde socio-économique et avec l'international.

La dynamique du site

A partir de 2012, une dynamique de coordination et de mise en commun des compétences au sein des laboratoires s'est mise en place à partir de deux instruments :

- le labex MEC, obtenu en 2011, a développé la recherche au sein des 4 laboratoires autour de trois axes transversaux. Cela a permis d'accroître les recherches en collaborations. Le labex concernait initialement 30 % des chercheurs et il s'est progressivement étendu jusqu'à soutenir actuellement l'ensemble des recherches sur le périmètre des quatre laboratoires. Le labex a été un acteur déterminant des dernières années, ayant joué un effet de levier déterminant favorisant l'émergence de thématiques de recherche aujourd'hui fortement visibles (projets ERC, labcom, contrats industriels, maturation d'innovation),
- la fédération de recherche Fabri de Peiresc, créée en 2012, assure un rôle de coordination des politiques scientifiques, d'animation scientifique (afin d'inciter les interactions entre chercheurs des différents laboratoires de la fédération), d'action de visibilité vis-à-vis de l'industrie (journée St-Gobain Recherche Provence - fédération par exemple) et du grand public (actions de culture scientifique).

Spécificité du site

Un spectre très large de thématiques — S'il existe différents centres de haut niveau en mécanique en France (on peut citer Poitiers, Toulouse, Lyon, Paris, Metz, Bordeaux) l'ensemble formé par les laboratoires de l'Institut possède incontestablement le plus large spectre dans la discipline, depuis ses aspects les plus phénoménologiques et fondamentaux (systèmes complexes, ondes, physique de la matière molle, mathématiques appliquées) jusqu'à des applications directes à des problématiques industrielles (conception et calcul de structures composites, caractérisation sonore et ultrasonore, caractérisation mécanique et thermophysique de matériaux, simulations numériques pour l'énergie et le transport...).

Un spectre très large d'approches et de finalités — De manière concomitante à cette diversité thématique, une grande diversité méthodologique est présente, avec une complémentarité entre approches théoriques et expériences de laboratoires, grands moyens expérimentaux et compétences en simulations numériques. De plus dans certains axes forts, les études couvrent un spectre large depuis l'établissement de nouvelles lois jusqu'à des applications industrielles.

Un socle scientifique commun — Malgré cette richesse de thématiques et d'approches, il est important de rappeler que l'ensemble des acteurs de l'institut se retrouve autour d'une discipline, la mécanique, basée sur les outils de modélisation du comportement des milieux continus fluides et solides et des transferts. Ce langage commun et cette démarche de compréhension physique en vue d'une modélisation mathématique forge une vraie communauté que l'institut a vocation à développer.

Un pôle d'excellence reconnu

Le développement de la recherche en mécanique, énergétique, acoustique, génie des procédés à Marseille résulte d'une action continue depuis au moins le milieu du XXe siècle. Des thématiques fortes ont été développées à la fois au sein de la faculté des sciences et également au sein de l'unité propre du CNRS qui est devenue le LMA, autour des écoulements turbulents, de la combustion et des systèmes réactifs, de la thermique, de l'acoustique, de la mécanique des solides. Cette tradition d'excellence se perpétue et contribue à faire de Marseille un pôle très rayonnant en mécanique au niveau national et international. Si l'on se limite aux huit dernières années, les éléments témoignant de l'excellence scientifique du site sont nom-

breux : 1 membre de l'Académie des Sciences, 1 médaille de bronze du CNRS, 1 médaille d'argent du CNRS, 4 nominations à l'Institut Universitaire de France, 1 Fluid Mechanics Prize de l'European Mechanics Society, 1 médaille Ya. B. Zeldovich du Combustion Institute, 5 nominations comme fellows de l'American Physical Society et/ou de l'European Mechanics Society, 2 ERC Consolidator Grants, et le labex MEC attribué en 2011.

On compte actuellement 12 éditeurs de revues internationales parmi les plus renommées du domaine (Journal of Fluid Mechanics, Physical Review Fluids, Journal of Computational Physics, Journal of the Mechanics and Physics of Solids...). L'université d'Aix-Marseille se classe dans les 5 premières mondiales en nombre de publications dans le Journal of Fluid Mechanics sur les 5 dernières années.

Ecoulements et structures : dynamiques complexes

Décrire la mécanique des milieux naturels



Faire progresser les modèles sur les écoulements multiphasiques et améliorer les procédés



Etendre les champs d'applications des simulations numériques



Traiter des problèmes multiphysiques



Etudier la dynamique des structures complexes et leur rayonnement acoustique



Domaines de compétences

Traitement de l'eau et des déchets Fluides supercritiques Procédés membranaires Ecoulements réactifs Combustion et physique des feux Turbulence, Instabilités Aérodynamique Ecoulements tournants et stratifiés	Systèmes de séparation Micro-nanofluidique et interfaces Physique des transferts, thermique Turbulence dans les plasmas, MHD Milieux granulaires Fragmentation, mélange Interactions fluide/structure Génie mer et génie côtier	Audition et perception auditive Acoustique musicale Environnement et nuisances sonores Modélisation pour les ondes Acoustique Sous-Marine, Sismologie Ultrasons médicaux Couplages multiphysiques Contrôle non destructif Biomécanique Interfaces : contact, frottement Instabilités élastiques et grandes déformations Changements d'échelles et micromécanique Structures Composites stratifiés
--	--	--

✈️ Aérospatial et transport 🩺 Santé-biomédical 🌿 Environnement	💎 Matériaux 🔥 Risques naturels et industriels ☢️ Energie
--	--

Matériaux et milieux hétérogènes

Etudier les milieux granulaires et les fluides complexes 	Etudier les matériaux hétérogènes 	Etudier la propagation des ondes dans les milieux hétérogènes 	Etudier les structures souples en lien avec la biomécanique 
---	--	---	--

CONTOUR SCIENTIFIQUE

Pour s'attaquer aux enjeux de la discipline, nous proposons de développer des axes de recherche stratégiques autour de deux concepts :

- La dynamique complexe qui concerne l'ensemble des problématiques et/ou systèmes pour lesquels les équations de bases sont plutôt connues et établies, mais pour lesquels les difficultés résident dans les dynamiques complexes qui en résultent.

- les milieux hétérogènes, où la complexité réside dans le matériau lui-même et pour lesquels un enjeu majeur est de mesurer, et prédire leurs propriétés.

Ces deux thèmes aux contours nécessairement très larges sont identifiés comme des domaines dans lesquels le site a une visibilité internationale.

Dynamiques complexes : écoulements et structures

Il s'agit de développer des concepts, des méthodes et des diagnostics pour appréhender les dynamiques complexes qui apparaissent lors des mouvements des milieux fluides ou solides, et dans les transferts dont ils sont le siège, soit du fait de la nature instable et complexe des phénomènes soit du fait de couplages avec des effets extérieurs. Autour de cette thématique générale nous citons ci-dessous des thèmes sur lesquels se développe la recherche actuellement

- les **écoulements tournants** et/ou stratifiés avec ou sans champ magnétique, en lien avec les applications géophysiques et astrophysiques et les problématiques industrielles,

- les **écoulements multi-phasiques** avec le développement de modèles et méthodes numériques en lien avec l'industrie (écoulements sous conditions extrêmes, combustion, changement de phase), le **génie des procédés** avec un apport expérimental et des liens avec l'industrie importants, la fragmentation et le mélange depuis leurs aspects fondamentaux, jusqu'aux applications à l'énergétique et aux risques,

- l'extension du champ d'application des **simulations numériques** des écoulements complexes notamment à des simulations à l'échelle 1, à des problématiques d'écoulements urbains ou de biomécanique,

- les **problèmes multiphysiques** dans lesquels la mécanique est couplée à des transferts de masse, de chaleur, à des changements de

Eléments remarquables de l'axe dynamiques complexes

120 chercheurs impliqués

1 ERC Consolidator Grant Fludyco sur les écoulements géophysiques et astrophysiques

1 chaire industrielle ANR (ALBUMS avec Airbus, Safran et Renault) autour de la simulation numérique pour les écoulements

1 labcom avec Buffet-Crampon et un partenariat avec Yamaha (acoustique musicale)

2 plateformes labélisées AMU (simulations numériques et génie des procédés)

1 Laboratoire International Associé (LIA ISTROF) avec BTU Cottbus sur les écoulements tournants

Installations remarquables :

- en acoustique (chambres anéchoïques et semi-anéchoïque, studio ...),

- en écoulements haute vitesse (soufflerie supersonique, tubes à chocs)

- appareillages de génie des procédés

Collaborations soutenues avec Airbus, le CEA ...

Interactions avec les sciences de la terre, l'énergie (nucléaire, éolien), les sciences de la vie, de l'environnement.

phase, à de l'acoustique, à des forces électromagnétiques (magnétohydrodynamique, simulations numériques pour la fusion), **l'énergétique** en lien avec les grands défis sociétaux, et **les interactions fluide-structure**,

- La **dynamique des structures** et notamment l'influence des non-linéarités sur le comportement de systèmes complexes par exemple dans le contexte de **l'acoustique** (génération et perception du son, aéroacoustique ..) ou du déploiement de structures complexes.

Le développement conjoint de ces différents thèmes permet d'envisager des progrès importants dans notre capacité à appréhender et à résoudre des problèmes de dynamiques complexes pour s'attaquer aux enjeux précédemment cités. Par exemple pour effectuer des simulations numériques performantes du bruit généré par l'écoulement autour d'une voiture, il est important de maîtriser la physique des écoulements dans la couche limite, de comprendre la manière dont les parois éventuellement déformables interagissent avec

l'écoulement et d'étudier la manière dont le son se propage dans ces géométries complexes.

Ces recherches s'appuient sur un ensemble d'éléments remarquables tant du point de vue de la recherche fondamentale que du point de vue des partenariats et actions de valorisation. Les liens avec des partenaires sont nombreux avec les domaines de l'énergie (CEA, Total, EDF, Idéol), de l'aéronautique/spatial (Airbus, Safran, Ariane-group, CNES, ESA), des matériaux (Saint-Gobain, Solvay), de l'environnement (Véolia, SEM). L'expertise sur la modélisation des écoulements et des phénomènes vibratoires se traduit aussi par des interactions avec d'autres instituts ou éléments structurants du site : l'IC Centuri sur la modélisation des systèmes vivants, le nucléaire à la fois pour la simulation numérique et aussi pour l'instrumentation en milieu extrême, l'environnement.

Cet axe est bien représenté dans les formations d'ingénieurs ainsi que dans les masters mécanique et génie des procédés. La richesse des liens industriels rend les formations attractives pour les étudiants.

Matériaux et milieux hétérogènes

Il s'agit de développer des concepts, des méthodes et des diagnostics pour améliorer la compréhension de la physique et de la mécanique des milieux hétérogènes et d'en améliorer la modélisation, et la prédiction de leur propriétés. Cela implique aussi bien des milieux à comportement fluide (milieux granulaires) que des milieux solides fortement hétérogènes (milieux poreux, composites, matériaux dégradés...). Nous présentons ci-dessous quelques sujets emblématiques qui sont l'objet de recherches actuelles avec un fort rayonnement :

- les **milieux granulaires** et les suspensions avec un point de vue fondamental (lois de comportement, méthode de caractérisation) et par extension les **fluides complexes** que l'on retrouve dans nombreux procédés industriels.

- les **matériaux composites** là aussi avec des compétences en modélisation (homogénéisation) et avec des développements appliqués s'appuyant sur un ensemble d'équipements de prototypage et de contrôle, et par extension les matériaux hétérogènes dont les **milieux poreux**, dont la caractérisation géométrique, les propriétés de transport et de transfert demandent des concepts et outils nouveaux, pour des applications aussi variées que les échangeurs de chaleurs, les réacteurs, les os, les membranes,...

Eléments remarquables de l'axe matériaux et milieux hétérogènes

80 chercheurs impliqués

1 ERC Consolidator Grant Plantmove sur la biomécanique des plantes

1 labcom avec le CEA (matériaux et structures)

Installations remarquables :

- fabrication et contrôle de pièces composites (plateforme Inovsys),
- contrôle non destructif (NDT Valor),
- ensembles de plateformes pour la caractérisation thermophysique des matériaux,

- microtomographe X

Collaborations externes nombreuses avec Saint Gobain, Airbus, l'IRSN, le CEA ...

Interactions avec les sciences de la terre, le nucléaire, les sciences de la vie, de l'environnement.

- la **propagation des ondes dans les milieux complexes** dans des échelles et des environnements extrêmement variés (du réacteur nucléaire au biomédical) à des fins d'imagerie et de détection,

- les tissus mous et structures souples en liens avec la **biomécanique** à la fois dans une démarche clinique et une démarche de conception bio-inspirée.

Les éléments remarquables associés à cet axe sont présentés dans l'encart ci-contre. Les installations de caractérisation des matériaux et milieux hétérogènes sont particulièrement présents. Ils sont l'objet de nombreuses collaborations industrielles.

Du point de vue des formations, on notera en particulier sur le volet matériaux composites (master génie mécanique) un lien très actif entre formation, recherche et valorisation, par la pédagogie innovante : apprentissage par projets et utilisation des plateformes (plateforme composites, fablab) lors des formations.

ACTIONS DE SOUTIEN A LA RECHERCHE

Les actions que nous souhaitons développer dans ce projet sont :

- amplifier les échanges et les projets collaboratifs au sein de la fédération et avec des acteurs externes ;
- identifier les projets émergents à fort potentiel et les soutenir — c'est l'action actuelle du Labex MEC qui est particulièrement efficace dans notre domaine car les besoins nécessaires à la maturation d'une idée (montage d'expérience, fonctionnement) sont le plus souvent « limités » (typiquement des financements ciblés de 20 à 50 k€ se révèlent efficaces).

L'objectif de ces actions de soutien est de maintenir une dynamique de projets novateurs afin de permettre l'émergence de nouveaux thèmes originaux à fort potentiel. Il s'agit donc ici d'une action de pépinière qui s'appuie sur l'excellence du site, sur sa diversité et sur ses interactions avec l'extérieur et qui vise au développement de projets qui ont ensuite vocation à être soutenus par des financements nationaux ou internationaux.

Actions de soutien à la recherche

Afin d'accompagner le développement de la recherche, nous proposons sur le modèle du labex MEC élargi à l'ensemble de l'institut, un soutien à des actions de recherche émergentes, sur appel à projets régulier, pour permettre la maturation de projets à forts potentiels. Le succès du labex MEC a démontré que cette action conduite au plus près des laboratoires permet une grande souplesse et une grande réactivité. La connaissance du tissu de recherche permet aussi de suggérer des collaborations au sein de l'Institut ou vers l'extérieur (en lien avec les entreprises par exemple). Ces soutiens sont multiformes (équipement, fonctionnement, conférences, invités, jeunes chercheurs..) et ils visent également au rayonnement du site.

Conclusion sur le volet recherche

Le pilotage de la recherche se fera au sein d'une cellule composée de quelques experts qui pourront analyser les projets proposés mais aussi orienter vers des thématiques ciblées. L'écosystème actuel fonctionne bien. Il bénéficie d'une dynamique positive, générée par le labex, le rapprochement géographique du LMA, le développement de la fédération dans son rôle de coordination des politiques et

des actions (séminaires, workshops ...). Cette dynamique peut être encore amplifiée par un programme d'incitation non thématique mais plaçant la priorité sur l'aspect collaboratif et l'originalité des projets.

RELATIONS AVEC LE MONDE SOCIO-ECONOMIQUE

Des relations nombreuses

La mécanique, l'acoustique et le génie des procédés se sont naturellement développés au contact des innovations industrielles et il est naturel que les interactions entre chercheurs de la fédération et établissements industriels soient nombreuses. Cela se traduit par un nombre important d'actions en contact avec le monde socio-économique et d'actions de valorisations :

- des contrats de recherche financés par des industriels : le montant moyen annuel des contrats industriels de 1,1 millions d'euros, pour un montant de contrats moyens sur fonds publics (ANR, ERC, Amidex, EPIC, Collectivités) de 3,7 millions d'euros,
- 16 bourses CIFRE en cours,
- 27 brevets sur la période 2011/2016,
- une chaire industrielle (chaire ALBUMS avec Airbus, Renault et Safran),
- un labcom créé au LMA avec Buffet-Crampon (acoustique musicale),
- des relations fortes avec les EPIC (CEA, IRSN...).
- deux plateformes labélisées (SNA3 et Génie des Procédés) ainsi qu'un ensemble d'équipements en cours d'installations notamment dans le cadre du projet CPER CEMEA (Caractérisation et Essai en Mécanique et Acoustique, financement de 2,3 millions d'euros).

Mise en place d'une stratégie pour amplifier les interactions

Les relations chercheurs/industriels sont souvent individuelles ou à l'échelle d'une équipe sur une thématique bien particulière. Afin d'amplifier le développement des relations avec l'industrie, il nous semble important d'améliorer la visibilité du site dans son ensemble ce que permet l'Institut. Cela fait ainsi écho à la volonté affichée de conduire des actions de recherche avec plus de trans-disciplinarité ; nous souhaitons mettre en avant la diversité des domaines d'activité au sein de l'Institut. Les objectifs que nous visons sont les suivants :

- développer des relations privilégiées avec des grands groupes industriels ou des EPIC à l'échelle de l'Institut afin d'être identifié comme

un interlocuteur prioritaire sur leurs actions de recherche (mise en place de chaires et laboratoires communs),

- développer plus largement le modèle de plateformes pour permettre la valorisation de certains équipements et dynamiser les liens avec l'industrie,
- accroître notre visibilité en organisant des actions d'échanges (séminaires, groupes de travail sur le format des European Study Groups with Industry),
- renforcer les liens entre les acteurs économiques et les formations et en particulier développer les actions de formation continue en particulier sur les plateformes, et les formations en alternance (déjà présentes à Centrale Marseille et dans le master Génie des Procédés).

Pour atteindre ces objectifs nous projetons la mise en place à l'échelle de l'Institut d'une structure permettant de faciliter les échanges avec les partenaires extérieurs. Nous souhaitons ainsi affecter un personnel (de niveau ingénieur) à cette structure afin de permettre d'agir dans la recherche de partenaires, d'organiser la communication vers les entreprises, de répondre aux demandes de valorisation ou de recherche partenariale et d'orienter les demandeurs vers l'expertise adéquate.

Pilotage du lien avec le monde socio-économique

L'ensemble de ces dispositifs est piloté au sein d'une cellule en charge des relations avec le monde socio-économique animée par un chargé de mission qui participe à la gouvernance de l'Institut tant pour la recherche que pour l'enseignement.

RENFORCEMENT DU LIEN FORMATION-RECHERCHE

L'offre de formation actuelle s'appuie sur les forces en re- cherche

Nous souhaitons créer un institut avec un périmètre large en ce qui concerne les formations, mais avec l'objectif de créer des filières d'excellence et de proposer des points d'accès diversifiés aux formations. Le périmètre englobe les formations dans lesquelles interviennent majoritairement les enseignants-chercheurs de l'Institut :

- à l'UFR Sciences
 - le master de mécanique : 40 diplômés par an, trois parcours en M2 : Aéronautique et Transport, Science du Feu et Ingénierie de la Sécurité Incendie, Fluids and Solids (enseigné en anglais, ouverture prévue en septembre 2019).
 - le master de génie mécanique : 30 diplômés par an, deux parcours en M2 : Conception de Systèmes Mécaniques, Conception de Structures Composites.
 - le master de physique, dont le spectre dépasse largement celui de l'Institut mais dont certains étudiants s'orientent vers les systèmes complexes, la biophysique ou la physique de la matière molle qui sont des domaines développés au sein des laboratoires.
 - le master de génie des procédés, avec deux séries d'options en M2 : traitements des effluents, applications au nucléaire. Le master est co-habilité avec l'INSTN et Centrale Marseille
- à Polytech Marseille, les formations des départements Mécanique Energétique et Génie Civil.
- à Centrale Marseille, notamment les étudiants des filières de 3e année MECA et GREEN.

Ces formations sont complétées par celles dont l'ouverture est projetée : master d'ingénierie des systèmes complexes, le mastère spécialisé éolien offshore & ingénierie marine, tous deux portés par Centrale Marseille, et le parcours Waves du master de mécanique (pour lequel un projet Erasmus Mundus a été déposé) Elles bénéficient naturellement, du fait de l'action des enseignants-chercheurs, des compétences scientifiques présentes au sein des laboratoires. Les actions proposées ci-dessous visent à rendre plus concret le lien forma-

tion-recherche et ainsi à améliorer l'attractivité des formations de master afin d'en accroître la visibilité en France et à l'étranger et à améliorer l'attractivité des formations par la recherche.

Les objectifs de l'institut en termes de formation

Les masters seront placés au centre de l'action des instituts mais certaines actions seront ouvertes sur les formations d'ingénieurs. L'objectif est de renforcer l'attractivité de l'offre de formation :

- en renforçant les opportunités de séjour en laboratoire des étudiants, en faisant participer les étudiants à des actions de recherche, en présentant des actions de recherche et valorisation aux étudiants pour les sensibiliser aux problématiques actuelles de recherche et de développement ;
- en proposant une offre de formation ouverte sur l'ensemble des disciplines présentes et offrant la possibilité aux étudiants de choisir leur parcours en fonction de leurs souhaits et de leurs projets.

Renforcement du lien formation- recherche et de l'attractivité des formations

Les actions proposées sont donc

- des actions tournées vers un élargissement de l'offre (plutôt à destination des masters) avec les objectifs suivants :
 - développer dans les formations l'alternance recherche en laboratoire et l'alternance en entreprise notamment en proposant un rythme alternant les séquences d'enseignement classiques (cours, TD et TP) sur des périodes de 3 à 4 semaines avec des périodes d'une à deux semaines consacrées à des projets (pour les étudiants non alternants) ou à l'alternance, permettant ainsi le développement de compétences (gestion de projet, travail en équipe, organisation, rédaction) indissociables d'une formation de master;
 - proposer des formations permettant aux étudiants de construire un parcours personnalisé en fonction de leurs aspirations professionnelles en profitant au mieux des compétences présentes au sein de l'Institut.

Ces deux actions impliquent des changements importants en terme d'organisation (changement d'organisation des formations, porosité accrue entre les formations) et ils ne pourront être mis en place qu'après une phase

de réflexion exhaustive mais l'objectif d'avoir des formations plus souples et plus ouvertes est largement partagé par la communauté. La pédagogie innovante faisant largement appel à des projets (conduits en particulier dans les laboratoires) est déjà à l'oeuvre dans les masters.

- des actions favorisant le lien formation-recherche :

▸ l'accueil en alternance recherche d'étudiants des masters et des écoles d'ingénieurs (comme cela se pratique déjà à Centrale Marseille) : les étudiants choisissent un sujet de recherche sur lequel ils vont travailler pendant 2 semestres ou plus. Ils passent du temps en laboratoire (1/2 journée par semaine et au moins 1 semaine complète par mois) pour travailler sur un sujet. Ils interagissent avec un encadrant dans le laboratoire et participe à la vie de l'équipe de recherche qui les accueille. Ce dispositif sera accompagné par des bourses aux étudiants (en nombre restreint) et permettra ainsi une continuité entre masters et thèses sur le format d'une graduate school.

▸ l'organisation régulière (mensuelle ou bimestrielle) de séminaires organisés par les étudiants (masters, élèves-ingénieurs, doctorants). Ces séminaires seront accompagnés d'une introduction à la thématique par un enseignant chercheur de l'institut. L'intervention de chercheurs en entreprise sera encouragée. Ces séminaires seront l'occasion d'interactions entre doctorants et étudiants de master et d'école d'ingénieurs instaurant une continuité dans les études.

▸ la coordination des cours de l'école doctorale (2 à 3 cours par an) avec les cours de masters afin de proposer des enseignements sur des thématiques pointues et se renouvelant.

▸ le recrutement de post-doctorants sur le format des *instructors* des universités anglo-saxonnes, avec un service d'enseignements d'un demi-ATER. Ces recrutements seront externes et accompagneront les projets de recherche les plus prometteurs. Ces *instructors* participeront notamment à l'encadrement de projets en lien avec leur activité de recherche.

- des actions améliorant l'attractivité du site (en complément de celles proposées ci dessus)

▸ Nous proposons de mettre en place des bourses d'accueil pour favoriser l'installation

de candidats extérieurs au campus et étrangers.

▸ Certaines formations (en Master 2 en particulier) seront enseignées en anglais facilitant ainsi l'accueil d'étudiants étrangers.

▸ Le développement de formations ciblées (publics internationaux, publics industriels) s'appuyant partiellement sur les formations actuelles sera accompagné. De telles formations sont déjà en cours de développement (master international Waves, master ingénierie des systèmes complexes porté par Centrale Marseille)

Pilotage des actions de formation

Un comité formation sera animé par un directeur. Des réunions régulières avec les représentants des formations seront organisées pour mener l'important travail de coordination permettant aux différentes actions d'avoir une cible large.

DÉVELOPPEMENT À L'INTERNATIONAL

De nombreuses relations internationales

Les relations internationales sont présentes tant dans les laboratoires qu'au niveau des formations. Parmi les indicateurs de ces liens forts, on peut citer :

- 12 cotutelles de thèse avec des universités étrangères sur la période 2012-2017,
- des projets financés avec des partenaires étrangers (projet européen PeISkin, projets ANR-DFG TWIN-HELIX et TURBMIX),
- le montage d'un laboratoire international (LIA CNRS 1092 ISTROF),
- la participation à des réseaux européens (ITN Waves et Migrate), portage de l'ITN CoPerMIX déposé en 2019.

Les formations ont également des relations internationales avec la co-habilitation du master génie mécanique avec l'université de Ferrara et un nombre important d'étudiants étrangers dans les masters et en thèse. Le parcours de master Waves (ouverture prévue en 2020 ou 2021) est un master international (Erasmus Mundus déposé avec les universités de Coimbra et de Valence). Le master ingénierie des systèmes complexes sera enseigné en anglais et il est également destiné à un public international. Enfin le parcours Fluids and Solids du master mécanique sera également enseigné en anglais. Cette offre de formation permettra notamment de faciliter les échanges étudiants avec les partenaires des établissements.

Stratégie de développement à l'international

Si les relations sont nombreuses, le constat fait pour les relations avec les entreprises est aussi valable pour l'international : les relations sont avant tout individuelles et il apparaît souhaitable de mettre en place des relations plus établies avec quelques acteurs identifiés. Pour cela nous proposons de nommer un chargé de mission « international » qui animera les actions suivantes :

- l'identification de partenaires académiques ayant déjà des relations fortes avec les laboratoires et analyse des opportunités d'institutionnalisation des relations,
- au niveau des formations, recherche d'institutions partenaires pour mettre en place des

échanges d'étudiants (ce type de relations est déjà présent dans les écoles d'ingénieurs) notamment sous forme d'échanges de stages en laboratoires,

- incitation et accompagnement au montage de projets européens (ITN).

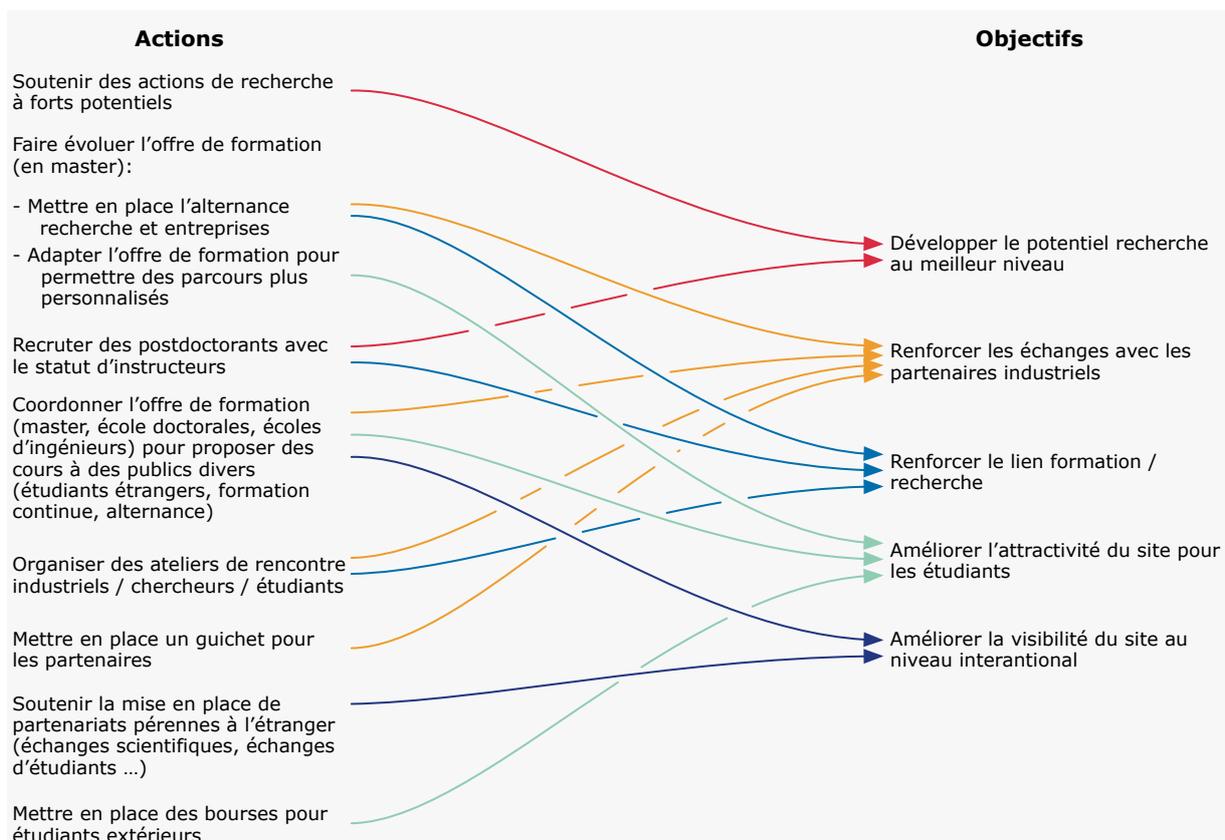
RÉSUMÉ

Le projet d'Institut reste ouvert sur la discipline et vise l'excellence du site en conservant ses missions actuelles :

- étendre les connaissances dans le domaine de la mécanique des fluides et des solides, de l'acoustique, du génie des procédés,
- étudier les interactions et applications de ces domaines avec d'autres champs scientifiques (sciences de la terre et de l'univers, science de la vie, médecine, environnement ...) faisant ainsi de l'Institut un acteur fort ayant vocation à interagir avec les autres domaines phares du site d'Aix-Marseille pour les aspects de modélisation et d'instrumentation,
- proposer des applications innovantes des recherches produites en interaction avec des partenaires industriels.

Il s'appuie sur deux axes forts du site : les dynamiques complexes et les matériaux et milieux hétérogènes. L'élément central du projet est la mise en commun de compétences variées disponibles dans les différents laboratoires pour assurer le développement de ces deux axes.

L'institut constitue une réelle opportunité d'étendre la dynamique de coopération initiée au sein de la fédération et du labex MEC aux formations en insistant particulièrement sur le volet relations avec le monde socio-économique et développement international.



PROJET D'INSTITUT DE MÉCANIQUE ET D'INGÉNIERIE : COMPLÉMENTS EN RÉPONSE AUX RECOMMANDATIONS DU BOARD D'AMIDEX

Ce document a pour objectif de compléter le projet d'Institut de Mécanique et d'Ingénierie en particulier en répondant aux recommandations du board d'AMIDEX.

STRUCTURATION PROGRESSIVE DE L'INSTITUT

Le développement de l'institut s'appuiera sur la recherche de meilleures synergies au sein des différentes équipes de recherche et au sein des formations afin de développer les thèmes scientifiques du projet. La structuration se mettra progressivement en place, les étapes principales étant

- la mise en place d'une gouvernance et d'un bureau assurant l'animation de l'Institut,
- le lancement d'actions incitant au développement de projets transversaux autour des axes scientifiques que ce soit en recherche, formation ou valorisation, et d'actions structurantes en matière de formation et de valorisation,
- un travail prospectif en vue d'établir une cartographie fine en recherche et formation des thèmes forts et des thèmes à fort potentiel de développement.

Gouvernance et animation

Le préalable au démarrage d'actions et d'appels à projets est la mise en place de la gouvernance. En plus de la gouvernance statutaire, nous souhaitons mettre en place un bureau avec des responsables d'axes scientifiques et des personnes chargées de l'animation des domaines applicatifs reprenant ainsi l'organisation proposée pour l'institut. Les responsables d'axes participeront à l'animation scientifique. Les projets déposés lors des appels d'offre s'inscriront dans un de ces axes. Les responsables d'axes seront sollicités lors des arbitrages. Les personnes chargées de l'animation des domaines applicatifs auront pour mission de développer des actions spécifiques dans leur domaines de compétence comme des appels à projets ciblés sur leurs thèmes. Ils auront aussi pour mission de développer les relations avec les partenaires, qu'ils soient industriels ou académiques pour organiser des actions communes (journées d'animation scientifique, appels d'offres communs avec d'autres instituts ou avec des partenaires industriels)....

Actions incitatives

Les actions incitatives ont pour objectifs de renforcer les synergies entre les différentes équipes de recherche et les différentes formations afin d'aborder des problèmes et des thématiques de manière plus transversales. Elles prennent généralement la forme d'appels à projets dans la continuité des actions conduites au sein du labex MEC. Ces appels peuvent être « blancs » ou plus ciblés. Ces actions peuvent être débutées rapidement après la mise en place de la gouvernance :

- soutien aux projets de recherches transversaux à fort potentiel,
- soutien aux actions de formations innovantes (nouveaux cours, enseignements sur plateformes, actions de formations continues),
- recrutement de post-doctorants avec le statut d'instructeurs,
- bourses d'accueil pour étudiants et bourses pour étudiants en alternance recherche,
- soutien aux actions étudiantes (séminaires, actions de projet)...

Actions de structuration

Les actions de structuration suivantes demandent un travail d'adaptation des dispositifs existants :

- mise en place de l'alternance (recherche et entreprises) après une adaptation des rythmes d'enseignement,
- mise en place d'un guichet pour le monde socio-économique permettant d'améliorer la visibilité du site,
- développement des plateformes.

Ces actions sont programmées sur les deux premières années après le démarrage de l'institut.

Démarche prospective

Ce travail prospectif doit établir une cartographie fine des domaines de compétences. L'inventaire des moyens humains et expérimentaux permettra d'identifier les thèmes à fort potentiel de

développement. Cette cartographie doit notamment permettre de cibler les profils en vue de recrutements d'enseignants chercheurs de haut-niveau. Le travail prospectif servira également de base pour l'évolution de l'offre de formation en vue d'une rationalisation entre les différentes formations.

STRATÉGIE EN TERME DE RESSOURCES HUMAINES

Nous souhaitons en premier lieu mettre en place le recrutement régulier de post-doctorants avec le statut d'instructeurs. Le caractère récurrent de ces recrutements ainsi que la durée des postes (un an renouvelable jusqu'à deux fois) permettent d'en assurer la visibilité et l'attractivité. Nous souhaitons ainsi attirer des candidats de haut niveau qui pourront bénéficier d'un accompagnement au dépôt de projet nationaux ou internationaux.

En ce qui concerne le recrutement de chercheurs confirmés de haut niveau sur des dispositifs de type chaire d'excellence, une telle démarche pourra être conduite à l'issue du travail de cartographie dont un des objectifs est de faire émerger les profils les plus pertinents dans l'environnement. A l'issue de ce travail, un comité de recrutement pourra alors être mis en place pour piloter la détection des meilleurs candidats.

APPROFONDISSEMENT DES RELATIONS AVEC LE CEA

Nous sommes particulièrement attentifs aux liens avec le CEA. De nombreuses relations existent à l'échelle des chercheurs ou des équipes. En février 2019, 30 thèses communes entre les 4 laboratoires de l'Institut et le CEA sont ainsi en cours. Un laboratoire commun entre le CEA et le LMA sera inauguré le 11 juin 2019.

Il est opportun d'amplifier les relations en élargissant les collaborations. Ce constat a été partagé lors d'une rencontre avec la Cellule Animation Scientifique et Actions Régionales le 6 juin 2019 à Cadarache. Il est apparu une volonté commune de chercher à étendre les relations déjà existantes et de mettre en place de manière récurrente des échanges à la fois par des séminaires / workshop afin que les deux communautés (CEA / Institut) se connaissent mieux mais aussi en créant une cellule d'échange permettant de développer des actions communes. L'aspect formation est un enjeu impor-

tant de la relation avec le CEA avec un objectif partagé d'améliorer les formations du site d'Aix-Marseille. Le développement de l'alternance (avec accueil d'alternats au CEA) a été identifié comme un axe intéressant pour améliorer l'attractivité des formations.

D'autres partenaires privilégiés (à un degré moindre que le CEA) sont aussi identifiés : l'unité Recover de l'IRSTEA (bientôt INRA), l'IRSN, ainsi que des partenaires au sein d'AMU (ISM notamment). Il nous apparaît opportun que ces partenaires soient associés de manière régulière aux actions de l'institut.

DÉVELOPPEMENT DE LA THÉMATIQUE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

La thématique de l'intelligence artificielle est identifiée comme émergente au sein des laboratoires. Elle est ainsi présente dans les enseignements avec notamment une UE dans le parcours de master Fluids and Solids (ouverture prévue en septembre 2019) et dans le master de physique. En recherche, cette thématique va se développer intensément sous l'effet de l'ERC Advanced Copod obtenue en 2019. Nous serons également particulièrement attentifs aux opportunités de développement en collaboration avec d'autres acteurs du site et en lien avec le monde industriel.

PLANIFICATION DES ACTIONS

Démarrage

Mise en place de la gouvernance

