

RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ

M2P2 - Laboratoire de Mécanique, Modélisation
et Procédés Propres

SOUS TUTELLE DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES :

Aix-Marseille Université - AMU

Centre national de la recherche scientifique -
CNRS

École centrale de Marseille

CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2022-2023
VAGUE C

Rapport publié le 23/03/2023



Au nom du comité d'experts¹ :

Yannick Hoarau, Président du comité

Pour le Hcéres² :

Thierry Coulhon, Président

En vertu du décret n° 2021-1536 du 29 novembre 2021 :

1 Les rapports d'évaluation "sont signés par le président du comité". (Article 11, alinéa 2) ;

2 Le président du Hcéres "contresigne les rapports d'évaluation établis par les comités d'experts et signés par leur président." (Article 8, alinéa 5).

Ce rapport est le résultat de l'évaluation du comité d'experts dont la composition est précisée ci-dessous. Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de ce comité. Les données chiffrées de ce rapport sont les données certifiées exactes extraites des fichiers déposés par la tutelle au nom de l'unité.

MEMBRES DU COMITÉ D'EXPERTS

Président :	M. Yannick Hoarau, Université de Strasbourg
	M. Marc Arousseau, Grenoble INP (représentant du CNU)
	M. Christophe Charmette, CNRS Montpellier (personnel d'appui à la recherche)
Experts :	M. Laurent Cordier, CNRS Poitiers (représentant du CoNRS)
	Mme Caroline Gentric, Université de Nantes
	Mme Pascale Hennequin, CNRS Palaiseau
	M. Jack Legrand, professeur émérite de l'Université de Nantes
	M. Franck Nicoud, Université de Montpellier

REPRÉSENTANTE DU HCÉRES

Mme Francine Fayolle

CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : Laboratoire de mécanique, modélisation et procédés propres
- Acronyme : M2P2
- Label et numéro : UMR 7340
- Nombre d'équipes : 6 équipes
- Composition de l'équipe de direction : M. Pierre Sagaut, directeur, M. Olivier Boutin, directeur adjoint

PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

ST Sciences et technologies
ST5 Sciences pour l'ingénieur

THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

Les activités du M2P2 sont concentrées sur deux grands thèmes liés à la mécanique des fluides numérique et au génie des procédés.

Les thématiques scientifiques concernent le développement de modèles et d'analyses théoriques décrivant des phénomènes physiques et chimiques sous différents types de contraintes. Ces modèles sont une base pour d'une part développer des simulations numériques prédictives d'écoulements multi physiques réalistes (basées sur des codes développés en interne), et d'autre part pour utiliser l'expérience pour améliorer la connaissance fine de processus et de procédés à différentes échelles (incluant leur couplage), et finalement créer des interfaces interdisciplinaires.

Ainsi, le M2P2 se positionne comme une unité de recherche des Sciences pour l'Ingénieur, avec un spectre large et continu de recherche allant de la recherche à caractère fondamental motivée par la volonté d'accroître les connaissances à la recherche à caractère finalisé liée à des problèmes économiques et sociétaux, en lien étroit avec des partenaires privés. Les principaux domaines d'application sont le transport (terrestre et aérien), l'environnement, l'énergie, la santé et la défense. Une part très significative des travaux est de nature multidisciplinaire, à l'interface avec d'autres grands domaines de la connaissance : biologie, médecine, pharmacie, physique nucléaire, chimie, écologie.

Le laboratoire est composé de six équipes :

- ITC (Instabilité, Turbulence et Contrôle), site Château-Gombert ;
- TONIC (Thermodynamique, Ondes, Numérique, Interfaces, Combustion), site Château-Gombert ;
- PROMETHEE (Procédés et Mécanique aux petites échelles), site Château-Gombert ;
- EPM (Équipe Procédés Membranaires), site Arbois ;
- TED (Traitement des Eaux et Déchets), site Arbois ;
- FSC (Fluides Supercritiques), site Arbois.

HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

L'unité Mécanique, Modélisation et Procédés Propres (M2P2) est issue de la fusion du laboratoire Modélisation et Simulation Numérique en Mécanique (MSNM) avec le Laboratoire Procédés Propres et Environnement (LPPE). Le M2P2 est dans sa configuration actuelle depuis 2004. Il a été UMR 6181 jusqu'en 2010 puis UMR 7340. L'unité possède trois tutelles : Aix Marseille Université (AMU, depuis sa constitution en janvier 2012), le CNRS et l'École Centrale de Marseille (ECM, depuis sa création en 2006). Il a été dirigé jusqu'en septembre 2015 par Patrick Bontoux, puis à partir du 1er octobre 2015 par Pierre Sagaut (directeur d'unité) et Olivier Boutin (directeur adjoint).

Il est composé de 49 personnels, chercheurs du CNRS (Département INSIS), enseignants-chercheurs de l'AMU et de l'ECM (sections CNU 60 et 62) et personnels d'appui à la recherche. Il est localisé sur deux sites ; le technopôle de Château Gombert (Marseille, hébergeur ECM) et le technopôle de l'Arbois (Aix en Provence, hébergeur AMU), distants de plus de 30 km.

ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

Le M2P2 est impliqué dans des structures de recherche et de valorisation à l'échelle de l'établissement et du site :

Les Instituts d'établissement : l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie (IMI, à titre principal) dont l'objectif est la compréhension des mécanismes de déformation, de mouvement et de transfert dans les fluides et les solides; l'Institut de Microbiologie, Bioénergies et Biotechnologie (IM2B) visant à comprendre la diversité et le fonctionnement du monde microbien; l'Institut Sciences de la Fusion et de l'Instrumentation en Environnements

Nucléaires (ISFIN) qui stimule la formation et la recherche dans les domaines des sciences de la fusion, de l'instrumentation nucléaire et de la caractérisation mécanique de matériaux et de structures pour la fission et la fusion.

Le Campus Technopôle de Château Gombert, pôle de recherche en mécanique-énergétique qui regroupe plus de huit laboratoires et 15 plateformes technologiques.

Le Campus Technopôle de l'environnement Arbois-Méditerranée tourné vers la création, le développement et l'accueil d'entreprises innovantes et de laboratoires de recherche dans le domaine de l'environnement.

Le PIA AMIDEX dont l'objectif est de valoriser et développer le potentiel du site d'Aix-Marseille.

Le LabEx « MEC » (2012-2019) a concerné l'étude des phénomènes de mouvements, de déformation de sources et de transferts en Sciences Mécaniques.

La Fédération de recherche Fabri de Peiresc (FR 3515) qui regroupe quatre laboratoires Marseillais autour des thématiques de la Mécanique, de l'Énergétique et du Génie des procédés.

La Fédération de recherche ECCOREV (ECosystèmes COntinentaux et Risques EnVironnementaux, FR3098) regroupant plus de 30 unités de recherche sur les risques naturels et industriels, les ressources en eau, les sols, la biodiversité et l'écotoxicologie ainsi que les écotecnologies.

La Plateforme « Génie des Procédés », tournée vers des outils permettant d'évaluer le traitement de différents effluents ou matériaux par des procédés respectueux de l'environnement et contribuant au développement durable.

La Plateforme « Simulation Numérique pour l'Aérodynamique, l'Aéroacoustique et l'Aérothermique (SNA3) », offrant des capacités de simulation numérique des écoulements turbulents par des méthodes de type LES basées sur une approche LBM (Lattice Boltzmann Method) innovante en aérodynamique, transferts de chaleur et de masse et acoustique.

Le Cluster régional « Novachim » avec pour mission d'assurer le soutien au développement de projets innovants, d'informer sur les moyens de recherche, d'innovation et d'amélioration technique disponibles et de favoriser les relations et transferts de technologie entre le monde académique, les centres de recherche et le monde économique.

La SATT Sud Est dont l'objectif est de transférer les technologies innovantes vers le monde industriel.

EFFECTIFS DE L'UNITÉ : en personnes physiques au 31/12/2021

Personnels permanents en activité	
Professeurs et assimilés	17
Maîtres de conférences et assimilés	15
Directeurs de recherche et assimilés	4
Chargés de recherche et assimilés	5
Chercheurs des EPIC et autres organismes, fondations ou entreprises privées	0
Personnels d'appui à la recherche	8
Sous-total personnels permanents en activité	49
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche non permanents	1
Post-doctorants	9
Doctorants	66
Sous-total personnels non permanents en activité	77
Total personnels	126

RÉPARTITION DES PERMANENTS DE L'UNITÉ PAR EMPLOYEUR : en personnes physiques au 31/12/2021. Les employeurs non tutelles sont regroupés sous l'intitulé « autres ».

Employeur	EC	C	PAR
Aix-Marseille Université	25	0	4
CNRS	0	9	3
Centrale Marseille	7	0	0
Total	32	9	7

BUDGET DE L'UNITÉ

Budget récurrent hors masse salariale alloué par les établissements de rattachement (tutelles) (total sur 6 ans)	1 336
Ressources propres obtenues sur appels à projets régionaux (total sur 6 ans des sommes obtenues sur AAP idex, i-site, CPER, collectivités territoriales, etc.)	895
Ressources propres obtenues sur appels à projets nationaux (total sur 6 ans des sommes obtenues sur AAP ONR, PIA, ANR, FRM, INCa, etc.)	2 942
Ressources propres obtenues sur appels à projets internationaux (total sur 6 ans des sommes obtenues)	1 107
Ressources issues de la valorisation, du transfert et de la collaboration industrielle (total sur 6 ans des sommes obtenues grâce à des contrats, des brevets, des activités de service, des prestations, etc.)	5 284
Total en K€	11 564

AVIS GLOBAL

Le M2P2 est une unité de recherche très dynamique et reconnu mondialement pour ses compétences dans le domaine de la mécanique des fluides numérique et des procédés propres. La politique scientifique de l'unité se focalise autour de trois thématiques fortement connectées avec les applications sociétales en cohérence avec son rattachement aux sciences pour l'ingénieur : l'énergie et les transports, la santé et la médecine, l'environnement et la transition énergétique.

Le bilan financier du laboratoire est exceptionnel avec un taux de réussite très important aux appels à projets locaux, nationaux et internationaux ainsi qu'une activité contractuelle avec les acteurs socio-économiques très impressionnante, ce qui lui a permis de former un grand nombre de doctorants et de post-doctorants sur la période et de financer des personnels d'appui à la recherche sur fonds propres. La marge de manœuvre de l'unité au niveau européen est perfectible.

La direction de l'unité a amélioré son fonctionnement en mettant en place un comité de direction, un appel à projet inter-équipes et en renforçant la sécurité, notamment sur les risques chimiques. Néanmoins le M2P2 est dans sa configuration actuelle depuis une vingtaine d'années et la bi-localisation de l'unité (Trois équipes sur le site de Château Gombert et trois sur le site de l'Arbois) entraîne un fonctionnement séparé des deux sites. Le projet de réunification de l'unité porté par la direction auprès des tutelles n'a pas abouti mais des efforts ont été entrepris pour instaurer plus de cohésion au sein de l'unité. Le regroupement de l'activité doctorale au sein d'une même école doctorale va favoriser une recherche pluridisciplinaire.

Malgré un investissement important dans des activités administratives tant en enseignement qu'en recherche, les chercheurs et enseignants-chercheurs de l'unité publient une très grande quantité d'articles dans la plupart des journaux de référence de leurs disciplines respectives et la majorité de ces publications sont accessibles en accès libre. Ils collaborent avec les acteurs majeurs du domaine tant au niveau national qu'à l'international.

L'unité a su se montrer attractive aussi bien au CNRS que sur le site universitaire Marseillais mais le prochain contrat quinquennal laisse entrevoir un grand nombre de départs à la retraite dont le renouvellement est très incertain.

L'unité a développé deux plateformes technologiques en génie des procédés et en simulation numérique largement reconnues mais qui mériteraient d'être renforcées en personnel d'appui à la recherche, malgré les recrutements obtenus pendant la période.

Le transfert technologique de l'unité vers la société est important avec plusieurs brevets et dépôts de logiciels. Les actions de diffusion des connaissances auprès du grand public sur des enjeux industriels et sociétaux d'actualité (énergie, environnement) sont nombreuses mais inégalement réparties dans les équipes.

ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

A - PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations du précédent rapport ont été très nombreuses et l'unité y a globalement répondu :

- Les services d'appui à la recherche ont été renforcés et stabilisés avec le recrutement en 2018 d'une technicienne CNRS pour le service expérimental des activités génie des procédés, en 2021 d'un ingénieur de recherche CNRS en appui aux activités de simulation numérique en mécanique, et d'une responsable administrative (RAD AMU) assurant la fonction de secrétaire générale du laboratoire. Un deuxième ingénieur de recherche en CDI de mission sur fond propre complète le service d'appui à la recherche.
- Un projet de regroupement des personnels des deux sites de l'unité (Arbois sur Aix en Provence et Château Gombert sur Marseille) sur celui de Château Gombert a été travaillé et validé par les tutelles avant d'être abandonné par celles-ci. La surface dévolue aux activités expérimentales sur le site Arbois va passer de 70 à 100 m², la sécurité du site (stockage des produits chimiques et autres) a été grandement améliorée.
- Un travail sur la cohésion de l'unité a été effectué, avec l'organisation de deux journées de l'unité et d'une journée des nouveaux arrivants, ainsi que la mise en place d'un appel à projet interne inter-équipe.
- Le nombre de publications et de ressources propres de chaque équipe a augmenté durant la période accompagnée d'une plus grande collégialité. Tous les permanents ont été impliqués dans au moins un projet.
- Le potentiel d'encadrement a été augmenté avec six HDR supplémentaires.
- La recommandation sur le recentrage des activités de l'unité au vu du nombre d'équivalent temps plein (ETP) n'a pas été suivie : l'unité compte toujours six équipes pour 49 membres. Le processus interne de réflexion qui a conduit à maintenir ce choix n'a pas été présenté.
- Un appel à projet interne a été mis en place pour engager des actions de recherche à l'interface entre la mécanique des fluides et le génie des procédés.

B - DOMAINES D'ÉVALUATION

DOMAINE 1 : PROFIL, RESSOURCES ET ORGANISATION DE L'UNITÉ

Appréciation sur les ressources de l'unité

L'unité bénéficie de forts moyens financiers liés à une activité contractuelle exceptionnelle couplée à un taux de succès important aux différents appels à projets régionaux, nationaux et européens. Cela lui permet d'accueillir un nombre très élevé de doctorants, de post-doctorants et aussi de financer du personnel d'appui à la recherche en numérique et en expérimental indispensable au bon déroulement des recherches de l'unité. Malgré cela cette forte activité contractuelle met en tension l'ensemble du service d'appui statutaire. Les moyens financiers (en forte hausse au cours du quinquennat) et humains dont l'unité dispose lui permettent de répondre à des problématiques de développement industriel en ayant des activités partenariales diversifiées.

Le nombre de postes d'appui à la recherche reste faible au vu de l'étendue des activités numériques et expérimentales. L'unité est toujours répartie sur deux sites ce qui limite les collaborations scientifiques malgré l'appel à projets interne inter équipes.

Appréciation sur les objectifs scientifiques de l'unité

L'unité est reconnue nationalement et internationalement dans différents domaines comme la simulation numérique des systèmes complexes multi-échelles et multi-physiques et le génie des procédés propres et intensifiés pour l'environnement, l'énergie et la santé. Chaque équipe poursuit des objectifs scientifiques clairs tout en répondant à des problématiques industrielles et sociétales.

Au niveau de l'ensemble de l'unité, l'objectif global est d'amener la simulation numérique à un niveau de maturité suffisant afin de répondre aux problématiques issues du génie des procédés, ce qui est pertinent par rapport à la constitution de l'unité. L'atteinte de cet objectif est rendue plus complexe par la localisation sur deux sites géographiques distants et mal connectés.

Appréciation sur le fonctionnement de l'unité

L'organisation de l'unité avec la création d'un comité de direction a permis d'avoir un fonctionnement efficient pour la mise en place d'une politique scientifique partagée. Malgré l'absence de prélèvement de l'unité sur les contrats, une politique d'appel à projet prospectifs inter-équipes a pu être mise en place ainsi qu'un soutien à l'achat de matériels mutualisés et au financement des différents CDI de mission d'appui à la recherche. La sécurité a été très fortement améliorée avec la prise en compte et la gestion de tous les risques, notamment chimiques.

Des propositions ont été faites pour créer un lien entre les deux localisations actuelles de l'unité comme des journées scientifiques, un circuit pour les nouveaux entrants (permanents et non-permanents), des appels à projets inter-équipes. Cependant tant que l'unité sera divisée sur deux sites la cohésion de l'unité semble difficile à réaliser. Cette situation est aussi très préjudiciable aux enseignants-chercheurs qui doivent régulièrement changer de sites pour assurer leurs enseignements ainsi que leurs activités de recherche.

L'activité doctorale jusque-là répartie entre deux écoles doctorales (353 : Sciences pour l'ingénieur : mécanique, physique, micro et nanoélectronique et 251 Sciences pour l'environnement : spécialité Génie des procédés) est regroupée maintenant au sein de l'école doctorale 353, ce qui va favoriser une recherche pluridisciplinaire au sein de l'unité.

Malgré tout l'unité fonctionne correctement, elle s'est donné les moyens de ses ambitions en soutenant le personnel d'appui à la recherche indispensable à ses activités par des CDI/CDD sur fonds propres.

L'unité est exemplaire sur la parité.

1/ L'unité possède des ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche.

Points forts et possibilités liées au contexte

Le financement de l'unité a triplé en 2018 pour se stabiliser à un niveau très élevé : 73,7 k€/an/ETP en financement public et 44,1 k€/an/ETP en financement privé. L'unité a été lauréate de nombreux appels à projets européens (5 projets EUROfusion, 3 projets des Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche, FEAMP), nationaux (10 projets ANR, 1 DGA, 2 PHC, 6 CNRS (PEPS, PICS ...), 1 chaire industrielle ANR) ou encore des appels locaux (11 AMIDEX, 3 IMI, 3 CENTURI, 1 projet Région/BPI, 1 projet région). L'activité contractuelle privée représente près de 71 projets avec des acteurs privés parmi lesquels EDF, TOTAL, SANOFI, AIRBUS, RHODIA, ENGIE, SAINT-GOBAIN, SOLVAY, ARKEMA, Société des Eaux de Marseille, Eau de Paris, etc.

Le nombre de doctorants a presque doublé par rapport à l'ancienne évaluation et l'unité a accompagné six nouveaux HDR pendant la période.

En ce qui concerne les ressources humaines, l'unité a pu bénéficier du recrutement d'une technicienne en soutien de l'activité expérimentale ainsi que celui d'un ingénieur de recherche en appui à la simulation numérique. De même une responsable administrative assurant la fonction de secrétaire générale de l'unité est venue compléter l'équipe de direction.

Points faibles et risques liés au contexte

Les ressources financières sont encore très inégales entre les équipes et le poids de ces ressources repose sur un faible nombre de chercheurs.

Malgré l'effort notable de la part du CNRS, le taux d'encadrement technique et administratif reste insuffisant et l'unité est obligée de financer actuellement sur ses ressources propres un personnel en CDD en soutien pour le service gestion ainsi que deux CDI de mission : un ingénieur de recherche en simulation numérique et un en expérimental.

L'unité est partagée entre deux sites ce qui ne facilite pas la création d'activités communes entre le génie des procédés et la mécanique des fluides ni la mise en place de journées ou moments scientifiques réguliers.

2/ L'unité s'est assigné des objectifs scientifiques, y compris dans la dimension prospective de sa politique.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité est reconnue mondialement pour ses compétences dans le domaine de la mécanique des fluides numérique ainsi qu'en génie des procédés dans le domaine des procédés propres.

Les domaines d'application affichés par l'unité sont au nombre de trois et impliquent chacune des six équipes de recherche. Ces thématiques sont : l'énergie et les transports, la santé et la médecine, l'environnement et la transition énergétique.

Afin de renforcer l'activité inter-équipe, l'unité a mis en place depuis 2019 le financement d'appel à projets permettant de financer des nouveaux projets inter équipes (essentiellement des stages de master). Ces projets comprenant toutes deux équipes ont permis aux lauréats de travailler en commun sur des nouvelles thématiques comme les problèmes d'écoulements ou de modélisation.

La forte activité de l'unité se réalise également avec des acteurs majeurs non-académiques (Engie, Safran, Renault, Airbus, EDF, Sanofi, CMA-CGM, Véolia, Eaux de Marseille, Eau de Paris ...) et justifie l'ambition de l'unité de renforcer son implication dans différents enjeux sociétaux que sont l'industrie du futur, l'énergie verte, le développement durable et la santé numérique.

Afin de renforcer l'identité de l'unité, il a été acté que les étudiants en thèse seront désormais regroupés dans une même école doctorale (ED353) ce qui ne peut être que bénéfique pour l'ensemble de l'unité.

La nouvelle direction a également prévu de renforcer l'implication de l'unité dans les programmes auxquels participent leurs tutelles (AMIDEX, CISAM+, plateformes, Région, Instituts d'établissements, fédérations Fabri de Peiresc et ECCOREV).

L'unité s'est également fixée comme objectif de porter des projets de grande échelle, structurants, construits sur de actions transverses et impliquant plusieurs équipes de l'unité (ANR ou Europe). Cette démarche correspond bien à la nécessité d'une mise en commun des différentes compétences présentes dans l'unité.

Cette reconnaissance est valorisée par un nombre conséquent de contrats nationaux (10 ANR, 17 Labex/Institut, 2 Région et 1 BPI) mais également par le financement de 30 dispositifs Cifre et 15 thèses directement issues de contrats industriels parmi les 130 thèses financées pendant cette période.

Points faibles et risques liés au contexte

L'unité n'affiche toujours pas d'axes scientifiques transverses. Il est prévu une réflexion afin d'augmenter les interactions inter-équipes et de coconstruire des projets scientifiques impliquant la mécanique et le génie des procédés mais cette réflexion n'a pour l'instant pas encore été mise en place hormis le financement d'appels à projets internes.

Le nombre de thématiques de recherche dans chaque équipe reste encore élevé par rapport au nombre d'ETP chercheur et enseignant-chercheur (un à deux permanents par thème présenté).

3/ Le fonctionnement de l'unité est conforme aux réglementations en matière de gestion des ressources humaines, de sécurité, d'environnement et de protection du patrimoine scientifique.

Points forts et possibilités liées au contexte

La parité est presque atteinte avec 44 % de femmes et 56 % d'hommes vingt femmes et vingt-cinq hommes parmi le personnel permanent.

Concernant la partie expérimentale en génie des procédés, l'unité disposera bientôt de 100 m² de locaux adaptés à son activité au lieu de 70 m² actuellement et une solution pour augmenter la surface de bureaux nécessaires à l'activité des équipes situées sur le site de l'Arbois a pu être trouvée en 2017.

Une alerte avait été faite concernant le stockage des produits chimiques, cette situation est maintenant conforme aux bonnes pratiques avec des locaux adaptés et optimisés (rationalisation des espaces de manipulation, sorbonne, etc.) et sécurisés (pièce de stockage de produits dans armoire ventilée) ainsi qu'un inventaire informatisé en cours de mise en place.

La sécurité informatique est assurée par le travail d'un ingénieur de recherche qui se consacre à cette mission.

Les matériels et logiciels que possède l'unité pour son activité sur le site de Château Gombert correspondent aux besoins du personnel.

Points faibles et risques liés au contexte

Malgré les efforts de la direction, il n'existe toujours aucune solution envisageable à court ou moyen terme pour espérer rassembler l'ensemble du personnel de l'unité sur un même site.

La densité des manipulations en place sur le site de l'Arbois laisse supposer que même lorsque les travaux seront réalisés pour augmenter la surface des locaux de 30 m², la surface disponible ne permettra pas de disposer d'un cadre expérimental approprié pour les ambitions de l'unité.

Les aménagements nécessaires à la sécurisation des salles expérimentales sur le site de l'Arbois (stockage des bouteilles de gaz à l'extérieur des locaux, création d'une soute à produits chimiques extérieure ...) sont difficiles en raison des contraintes dues à la localisation du bâtiment sur un site protégé.

Actuellement il n'existe qu'un seul poste permanent d'ingénieur de recherche en calcul numérique pour venir en appui du travail de vingt-trois chercheurs et enseignants chercheurs. Deux postes CDD en appui à cette activité ont dû être mis en place par l'unité.

Concernant l'activité expérimentale très dense et variée sur le site de l'Arbois, il n'y a également que deux postes permanents (deux techniciens dont un à 80%) pour dix-sept chercheurs et enseignants-chercheurs. Les équipes ont dû également recruter sur leurs fonds propres un ingénieur de recherche et une apprentie pour pallier ce manque.

DOMAINE 2 : ATTRACTIVITÉ

Appréciation sur l'attractivité

L'unité se montre très attractive avec un très bon taux de réussite aux appels à projets régionaux, nationaux et, à un moindre niveau, européens et elle développe une activité partenariale exceptionnelle qui lui permet d'accueillir ses membres permanents et contractuels dans de bonnes conditions. L'activité d'encadrement doctoral est très soutenue et la durée des thèses dans la moyenne nationale en science pour l'ingénieur. Les membres de l'unité sont impliqués dans plusieurs instances de gouvernance, comités éditoriaux et sont régulièrement sollicités pour diverses expertises tant au niveau national qu'au niveau international. Les deux plateformes soutenues par l'unité ont acquis une bonne notoriété tant dans le milieu académique que dans le tissu industriel.

1/ L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et contribue à la construction de l'espace européen de la recherche.

Points forts et possibilités liées au contexte

Plusieurs membres de l'unité ont été invités dans des conférences de référence dans leurs thématiques respectives, des séjours à l'étranger ainsi qu'à des séminaires en France et à l'étranger, mais faute de traçabilité spécifique au sein de l'unité ces informations sont incomplètes. De même plusieurs congrès nationaux et internationaux ou sessions spécifiques dans des congrès ont été organisés. L'activité éditoriale de l'unité est très dense avec des revues phares (*Computers and Fluids*, *Journal of Supercritical Fluids*, *Journal of Computational Physics*, *Journal of Scientific Computing*, *International Journal of Wild land Fire* ...) mais aussi des revues en accès libre qui occupent une place de plus en plus importante dans l'écosystème éditorial (*Membranes*, *Fluids*, *Hydrogen*, ...). Près de 35 % des publications scientifiques sont en collaboration avec des partenaires internationaux.

Les membres du M2P2 ont activement participé aux précédentes campagnes d'évaluation du Hcéres. Ils participent aussi à des comités de l'ANR avec notamment une vice-présidence de comité suivie d'une présidence, au CNU, sont experts dans plusieurs appels à projets internationaux (Europe, Canada, Israël, Belgique) et siègent dans différents conseils scientifiques (ONERA, CEA, CSTB, GENCI ...). L'unité compte aussi un membre sénior à l'IUF et un expert auprès des nations unies.

Points faibles et risques liés au contexte

Le comité ne relève pas de point faible pour cette référence.

2/ L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accueil des personnels.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité a mis en place un circuit d'accueil pour les nouveaux arrivants (permanents et contractuels) et des moyens matériels et financiers leur sont attribués. Ainsi la durée moyenne des thèses est de 42 mois, conforme à la moyenne en sciences pour l'ingénieurs, et à peine plus de 5 % des doctorants ont abandonné. Plus d'un tiers des financements de thèse le sont avec un partenariat industriel, dont un quart environ de dispositifs Cifre. Toutes les équipes ont des activités significatives avec le secteur industriel.

Durant la période l'unité a enregistré trois recrues au niveau universitaire et un recrutement CNRS auxquels s'ajoutent deux mutations de professeurs sur le site Marseillais ainsi qu'une mutation au CNRS.

L'intégrité scientifique est inscrite dans le règlement intérieur de l'unité et des actions de sensibilisation et de formations sont proposées. De même la sensibilisation à la science ouverte effectuée par l'AMU a été très efficace, la part des publications en accès libre est en très forte progression et se situe actuellement à près de 97 %.

Points faibles et risques liés au contexte

Un manque de communication entre les doctorants des sites Aixois et Marseillais a été constaté lors de l'entretien avec les doctorants et post-doctorants.

3/ L'unité est attractive par la reconnaissance que lui confèrent ses succès à des appels à projets compétitifs.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité rencontre un grand succès dans sa réponse aux appels à projets tout en maintenant une très importante activité contractuelle avec le secteur privé: environ la moitié des financements de l'unité (45 %) provient de contrats nationaux (ANR, chaires industrielles), environ un quart des contrats industriels et 10 % de contrats européens. L'origine de ces ressources propres est ainsi bien répartie. L'unité est aussi très active pour la réponse aux appels à projets du PIA - dont elle porte un projet - et des collectivités territoriales (AMU, Région ...). L'unité est ainsi la première unité de recherche du site Marseillais à porter une chaire industrielle (ANR, Airbus, Renault et Safran) et une deuxième Chaire industrielle ANR avec ENGIE a débuté en 2022. Au niveau Européen l'unité participe activement à la collaboration EUROfusion et a obtenu trois projets du fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche (FEAMP).

Points faibles et risques liés au contexte

Au vu de la capacité contractuelle de l'unité et malgré les succès aux programmes EUROfusion et FEAMP, l'unité a peu participé à des contrats européens H2020 ou Horizon Europe.

4/ L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences technologiques.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité est réputée par son activité dans la simulation numérique et par le développement de codes numériques. L'unité a ainsi développé deux plateformes, l'une en génie des procédés et l'autre en simulation numérique pour l'aérodynamique, l'aéro-acoustique et l'aérothermique, qui participent à son attractivité. Plusieurs actions de mutualisation ont été entreprises au travers de ces plateformes : matériels analytiques, serveurs pour la gestion partagée de développements numériques, sauvegarde de données.

La plateforme en génie des procédés est gérée par deux techniciens permanents auxquels s'ajoute un ingénieur sur fonds propres. Un ingénieur de recherche permanent et un sur fonds propres s'occupent de la plateforme numérique.

Points faibles et risques liés au contexte

Le soutien aux plateformes en termes de personnels techniques est encore trop faible pour pouvoir par exemple avoir la possibilité de développer davantage les prestations des plateformes vers le monde socio-économique, et ce malgré les efforts faits par l'unité pour recruter du personnel d'appui à la recherche sur fonds propres (CDD et CDI de mission).

DOMAINE 3 : PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Appréciation sur la production scientifique de l'unité

La production scientifique de l'unité est très élevée et d'un excellent niveau scientifique. L'unité publie dans les journaux phares de chaque thématique de recherche (mécanique des fluides, génie des procédés), ce qui est un gage de qualité de la recherche produite. Étant donné les activités de recherche de l'unité, les publications sont à la fois d'ordre méthodologique et appliquée. Les doctorants et post-doctorants sont fortement associés aux publications (83 % des publications ont un doctorant en premier, dernier ou auteur correspondant), une publication étant nécessaire pour l'autorisation de soutenance. La quasi-totalité des publications (96 % sur les quatre dernières années) est disponible sur la plateforme HAL.

1/ La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité publie dans les revues phares de la mécanique des fluides, de la modélisation numérique et du génie des procédés : *Journal of Fluid Mechanics*, *Physics of Fluids*, *Nuclear Fusion*, *Journal of Chemical Physics*, *Computers and Fluids*, *Chemical Engineering Journal*, *Chemical Engineering Science*, *Journal of Membrane Science*, *Water Research*, *Journal of Supercritical Fluids*, *Fire Safety Journal*, *Combustion and Flames*.

L'aspect fortement interdisciplinaire de l'unité et les fortes implications des activités de recherche vers le milieu sociétal (énergie et transports, santé et médecine, environnement et transition énergétique) contribuent de manière importante à la politique de publication. Par ailleurs, l'obligation donnée aux doctorants par les écoles doctorales associées de publier un article avant soutenance participe largement à la dynamique.

Points faibles et risques liés au contexte

Près de 83 % des articles de l'unité sont signés par un doctorant en premier auteur, dernier auteur ou auteur correspondant. Ce chiffre indique d'un côté que les doctorants sont amenés à publier pendant leur thèse et que leur travail est bien valorisé par l'unité, ce qui est très positif pour préparer leur avenir. Il montre également que les publications sont très dépendantes des sources de financement amenant à recruter ces étudiants. Il pourrait donc être difficile de maintenir le même taux de publication, si les sources de financement venaient à se raréfier. Les doctorants et post-doctorants n'ayant pas vocation à rester dans l'unité, il est donc capital d'assurer la conservation des compétences par les permanents au risque d'être fragilisé sur certaines activités.

2/ La production scientifique est proportionnée au potentiel de recherche de l'unité et répartie entre ses personnels.

Points forts et possibilités liées au contexte

Le nombre de publications par ETP et par an est bien réparti entre les équipes. En effet la production se répartit comme suit dans chaque équipe : 6,1 pour ITC ; 2,4 pour TONIC ; 2,3 pour PROMETHEE ; 3 pour EPM ; 2,4 pour FSC et 2,9 pour TED, ce qui conduit à une moyenne de 3,3 ACL/an/ETP pour la période. Le nombre de participations à des congrès internationaux est également très important. La production de l'équipe ITC est deux fois supérieure aux autres équipes, production proportionnelle au nombre élevé de doctorants et post-doctorants de cette équipe (plus de trente en moyenne).

Points faibles et risques liés au contexte

Même si la production scientifique est globalement excellente, de fortes disparités sont observées dans la plupart des équipes avec une hétérogénéité importante de publications par chercheur. Dans chacune des équipes, à l'exception de PROMETHEE, une analyse détaillée révèle un à trois chercheurs, dont le taux de publication est très largement supérieur. Dans la plupart des cas, ce sont des professeurs, souvent responsables de leur équipe pendant la période. Cette hétérogénéité de niveau de publication pourrait devenir problématique en cas de départ prochain d'un membre très publiant de l'unité.

Le nombre de publication inter-équipes reste très faible. Une analyse des publications inter-équipes montre qu'à l'exception de l'équipe PROMETHEE, celles-ci sont très peu nombreuses : 6 % pour l'équipe ITC, 4 % pour l'équipe TONIC, 35 % pour l'équipe PROMETHEE, 6 % pour l'équipe EPM, 0 % pour FSC et 10 % pour TED. En regardant

maintenant les collaborations entre activité « mécanique des fluides » et « génie des procédés », elles sont pratiquement inexistantes. Tout se passe donc actuellement comme si ces deux parties de l'unité vivaient une vie scientifique indépendante. La plus-value liée au regroupement de ces deux activités n'est pas démontrée à ce stade.

3/ La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'intégrité scientifique est inscrite dans le règlement intérieur de l'unité et des actions de sensibilisation et de formations sont proposées. Le comité n'a pas pu statuer sur ce critère d'intégrité scientifique. Il faudrait en effet réaliser une analyse poussée, article par article, ce qui n'est pas envisageable et il faudrait connaître de manière beaucoup plus approfondie le contexte local de recherche.

La sensibilisation à la science ouverte effectuée par l'AMU a été très efficace, la part des publications en accès libre est en très forte progression et se situe actuellement à près de 97 %.

Points faibles et risques liés au contexte

Le comité n'a pas identifié de mise en place par l'unité d'une politique de gestion des données de la recherche. La mise en place d'une telle politique deviendra une nécessité dans un avenir proche, en particulier vis-à-vis des agences de financement.

DOMAINE 4 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

Appréciation sur l'inscription des activités de recherche de l'unité dans la société

L'unité entretient des relations exceptionnelles avec le monde socio-économique, notamment à travers des contrats de collaboration qui lui permettent d'augmenter significativement la diversité et le volume de sa production scientifique. Les champs applicatifs sont liés à des questions sociétales d'envergure tels que l'environnement, l'énergie et la santé. Bien que caractérisés par une forte hétérogénéité entre les équipes, de réels transferts technologiques sont induits par certaines collaborations industrielles. L'investissement de l'unité en matière de diffusion open-source et vers le grand public est perfectible.

1/ L'unité se distingue par la qualité de ses interactions non-académiques.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité développe et entretient des liens forts avec le monde non-académique, ce qui se concrétise le plus souvent par des contrats doctoraux ou des financements post-doctoraux (co-)financés par un partenaire industriel. On dénombre ainsi trente dispositifs Cifre et quinze thèses financées sur contrats industriels. Le total des financements en lien avec des organismes privés (hors chaires industrielles avec par exemple Airbus, EDF, CNES, DGA, CEA, IFREMER, Total.) est d'environ 3,4 M€ pour la période évaluée, soit significativement plus que la dotation de 1,3 M€ reçu pendant la même période. L'intensité des relations avec le monde socio-économique explique la variété et le volume de la production scientifique de l'unité qui en tire une très forte visibilité.

Points faibles et risques liés au contexte

Le comité ne relève pas de point faible pour cette référence.

2/ L'unité développe des produits à destination du monde socio-économique.

Points forts et possibilités liées au contexte

Les études menées en collaboration avec des partenaires industriels ont permis à l'unité de produire des outils ou des méthodes à destination du monde socio-économique. Cela se traduit pendant la période par six déclarations d'invention, cinq dépôts de brevets et deux dépôts de logiciels.

Points faibles et risques liés au contexte

L'activité de transfert, hors numérique, durant la période est presque exclusivement associée au travail des équipes 4-6 « Génie des Procédés ». Aucun développement logiciel en open-source n'est réalisé ce qui contraste avec à la mise à disposition en accès libre des publications de l'unité.

3/ L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

Points forts et possibilités liées au contexte

La variété et le volume des collaborations entre l'unité et le monde socio-économique, sur des sujets correspondant à des enjeux industriels et sociétaux d'actualité (énergie, environnement), génèrent de nombreuses possibilités d'expliquer au grand public en quoi la science est un pilier essentiel des sociétés modernes. Différents médias (presse et TV) ont été mobilisés en ce sens.

Points faibles et risques liés au contexte

L'unité a une activité minimale pour la Fête de la Science.

C - RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

Recommandations concernant le domaine 1 : Profil, ressources et organisation de l'unité

L'unité doit continuer à répondre aux appels à projets et essayer de maintenir son activité avec les acteurs non-académiques. Le nombre de thématiques de recherche doit être adapté au potentiel en ressources humaines. De même l'unité doit continuer ses efforts pour dégager des thématiques communes aux différentes équipes tout comme persévérer dans ses efforts pour réunir les deux sites en un, ce qui faciliterait à la fois les activités de recherche et d'enseignement et renforcerait sa cohésion. En plus du regroupement des doctorants au sein de la même école doctorale, l'unité devrait mettre en place un bureau des doctorants avec des représentants des deux sites, qui pourrait prendre en charge une animation scientifique commune.

Des actions pourraient aussi être envisagées pour accompagner les chercheurs dans la réponse à des appels à projets internationaux.

Enfin au vu des départs à la retraite programmés, l'unité devrait dialoguer avec les tutelles pour s'assurer du maintien de son potentiel de recherche.

Recommandations concernant le domaine 2 : Attractivité

L'unité doit continuer ses efforts pour attirer et proposer des candidats en génie des procédés au concours chercheurs du CNRS.

L'unité doit inviter des conférenciers reconnus. Cela renforcera l'animation scientifique interne.

Recommandations concernant le domaine 3 : Production scientifique

L'unité doit continuer à publier dans les revues phares des disciplines et à soutenir la politique de valorisation notamment le dépôt de brevet, y compris pour les logiciels. Le comité invite l'unité à continuer sa politique visant à encourager les publications inter-équipes pour renforcer sa cohésion. Une réflexion est à mener sur l'accès libre en dehors des publications (logiciels, données de la recherche).

L'unité devra veiller à ce que le ratio CDD / permanents élevé n'entraîne pas une surcharge d'encadrement pour les membres permanents déjà bien investis dans des responsabilités administratives en enseignement et en recherche.

Recommandations concernant le domaine 4 : Inscription des activités de recherche dans la société

En s'appuyant sur les services de la chargée de communication, l'unité a les moyens de centraliser et d'améliorer ses actions de communication en direction du grand public puisque aucune équipe ne peut dégager les moyens nécessaires pour le faire.

Sans sa recherche partenariale l'unité doit veiller à ne pas devenir qu'un prestataire mais plutôt développer une vraie recherche partenariale tout en continuant à s'engager dans les grands enjeux sociétaux (santé, environnement, énergie).

ÉVALUATION PAR ÉQUIPE

Équipe 1 : Instabilités, Turbulence et Contrôle (ITC)

Nom du responsable : M. Julien Favier

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'activité de l'équipe ITC est centrée sur l'étude et la modélisation numérique d'écoulements de fluides neutres ou ionisés, naturels ou industriels. Son objectif est le développement d'outils de prédiction fidèles, réalistes et performants des écoulements, permettant l'optimisation de procédés industriels ou technologiques, pour répondre à des enjeux scientifiques fondamentaux, des applications industrielles, et des problématiques sociétales, dans les domaines de l'énergie et du transport, de la santé, de l'environnement. L'approche est multidisciplinaire et s'appuie sur des méthodes numériques innovantes.

L'équipe structure ses activités selon quatre thématiques : i) les écoulements aérodynamiques, ii) les écoulements biologiques, iii) les écoulements pour la fusion magnétique, iv) l'hydrodynamique et les transferts pariétaux.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations du précédent rapport ont été globalement suivies :

1) « Tout en maintenant l'activité sur les thématiques prioritaires et l'expertise de l'équipe sur le socle de compétences en simulations, l'équipe doit rendre compatible son potentiel recherche avec le nombre de thématiques développées afin d'éviter un éparpillement. Il s'agira aussi d'accorder son potentiel en soutien technique à l'ambition affichée de devenir un acteur de rang national en simulation numérique avancée »

L'équipe a veillé à ne pas se disperser et s'est recentrée sur quatre thématiques.

Le développement des simulations s'est focalisé sur deux codes à diffusion large : ProLB et SOLEDGE3X, avec également un renforcement des calculs sur des architectures parallèles.

L'équipe s'est montrée attractive pour renforcer son potentiel de recherche (recrutement d'un CR section 4 en 2021, mutation d'un autre CR de la section 4 et a bénéficié d'un recrutement d'un IR CNRS (transformation d'un CDI IR calcul).

2) « Il s'agira de renforcer la visibilité des chercheurs juniors en s'appuyant sur la présence des personnalités à forte reconnaissance au sein de l'équipe » et « Le comité d'experts recommande d'étendre les interactions et collaborations au niveau européen ».

Il reste encore à améliorer la visibilité de certains chercheurs "juniors" de l'équipe et à étendre les collaborations au niveau européen.

EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE

Personnels permanents en activité	
Professeurs et assimilés	5
Maîtres de conférences et assimilés	3
Directeurs de recherche et assimilés	3
Chargés de recherche et assimilés	1
Chercheurs des EPIC et autres organismes, fondations ou entreprises privées	0
Personnels d'appui à la recherche	0
Sous-total personnels permanents en activité	12
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui à la recherche non permanents	3

	Post-doctorants	10
	Doctorants	29
	Sous-total personnels non permanents en activité	42
	Total personnels	54

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe ITC développe des activités de recherche d'excellent niveau en mécanique des fluides et plasmas, avec des méthodologies originales et en lien avec des problématiques sociétales et industrielles d'intérêt (transport, énergie, santé, environnement). La production scientifique est de très bon niveau, en qualité et en quantité, avec une moyenne de plus de six ACL/an/ETP, en progression par rapport au précédent contrat. Les ressources financières de l'équipe sont également en forte progression, notamment du fait de la chaire industrielle ALBUM, avec des contrats européens (EUROfusion), institutionnels (2 ANR, MITI), locaux (AMIDEX) et de nombreux contrats industriels. L'équipe ITC est fortement motrice dans l'activité de l'unité.

Points forts et possibilités liées au contexte

Les publications sont parmi les meilleurs journaux de la discipline (*JCP, PRE, PoF, NF, CaF, JFM*), et le taux de publications pendant la période est très élevé : 6,2 ACL/ETP/an en augmentation par rapport à la précédente période d'évaluation. L'équipe développe des activités interdisciplinaires autour des écoulements biologiques (domaine pulmonaire, écoulements cardiovasculaires) conduisant à des publications dans des journaux à haut facteur d'impact (*Nature Physics, Scientific Reports*). Elle a obtenu la chaire industrielle ALBUMS (Airbus, Renault, Safran) permettant de fédérer le potentiel recherche sur les méthodes numériques autour du logiciel ProLB (Lattice Boltzmann). On note aussi la montée en puissance de la thématique écoulements pour la fusion par confinement magnétique avec la suite de codes SOLEDGE3X, sur une problématique essentielle pour ITER, l'extraction de puissance. La visibilité dans le domaine est nationale et internationale.

Le transfert de connaissance depuis le secteur académique vers l'industrie est important. Les financements publics et privés sont importants : 4 029 k€ de projets publics (83,9 k€/ETP/an) et 1 884 k€ de contrats privés (39,25 k€/ETP/an), soit plus de 50 % du budget hors dotations des tutelles. Cela a permis d'avoir un nombre important de doctorants et post-doctorants (plus d'une trentaine).

L'équipe a su renforcer son potentiel de recherche avec un recrutement de CR CNRS (section 4, physique des plasmas) et trois nouvelles arrivées (1 CR section 4 par mutation, 1 PU-PH pour renforcer les liens avec les activités sur les écoulements cardiovasculaires, 1 PU en mathématiques appliquées).

L'équipe compte aussi de très nombreuses responsabilités administratives de haut niveau tant en enseignement qu'en recherche (direction de département de mécanique, responsables de formations, direction d'école doctorale, membres de conseils scientifiques, chargé de mission de l'équipe de présidence ...).

Points faibles et risques liés au contexte

On note une très forte hétérogénéité des financements, des taux d'encadrement, de recrutements et de publications (de trois à soixante-huit publications pendant la période) entre les membres de l'équipe.

Pour le thème écoulements aérodynamiques, le potentiel recherche de l'équipe pour développer des collaborations internationales est limité avec la charge de travail lié à la chaire ANR ALBUMS, les grands contrats DGAC et DGA.

Le nombre d'encadrement important, proche de trois en moyenne par permanent (29 doctorants et 10 post-doctorants actuellement) fait peser une lourde charge sur les HDR de l'équipe.

Des difficultés sont à prévoir afin de maintenir l'activité scientifique en cas de baisse de financement par projet (renouvellement chaire ALBUMS, en particulier). Il y a un risque lié à la difficulté de maintenir un flux de recrutement doctorants et post-doctorants suffisant et de bon niveau.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

L'équipe devra veiller à bien intégrer les nouveaux arrivants et à leur fournir les conditions propices au développement de leur activité de recherche et à une prise d'autonomie.

L'équipe doit également être attentive à ne pas devenir trop dépendante financièrement de quelques contrats industriels importants (Chaire ANR ALBUMS). Par ailleurs, il est important de s'assurer que les compétences ne reposent pas de manière trop importante sur les doctorants et post-doctorants qui ont vocation à quitter l'unité.

L'implication de toutes et tous dans les activités de très grande qualité menées par l'équipe reste encore à être renforcée. Concentrer le rayonnement sur un petit nombre de chercheurs risque de fragiliser les activités de l'équipe.

Les personnalités à forte reconnaissance scientifique de l'équipe devraient contribuer de manière plus importante à un effet d'entraînement.

Équipe 2 : Thermodynamique, Ondes Numériques, Interface, Combustion (TONIC)

Nom du responsable : M. Pierre Boivin

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe TONIC (Thermodynamique, Ondes, Numérique, Interfaces et Combustion) développe une activité de modélisation de phénomènes fortement multi-échelles. Elle couvre notamment les écoulements multiphasiques et/ou réactifs, depuis l'échelle de l'injecteur isolé (quelques mm) jusqu'à l'échelle du feu de forêt pleinement développé (plusieurs hectares). Des méthodes numériques adaptées sont développées notamment pour l'imagerie des sols (détection de nappes par analyse acoustique) ou encore pour la modélisation des transferts radiatifs.

En parallèle à ces développements à caractère très multi-échelle, des travaux analytiques sont menés en appui à la construction de modèles. Un important effort de recherche est accordé à la modélisation de la thermodynamique des mélanges multiphasiques (calculs d'équilibre thermochimique, fermetures thermodynamiques complexes), ou encore au développement de modèles cinétiques réduits pour la combustion.

Très fortement orientée vers la simulation numérique l'équipe développe ainsi un module de combustion dans le code Lattice-Boltzmann (LBM) ProLB en collaboration avec l'équipe ITC. La méthode LBM est étendue aux écoulements avec des interfaces qui sont aussi résolus par une méthode continue, basée sur la résolution des équations de Navier-Stokes (en collaboration avec l'équipe SHOC de l'IUSTI). Cette méthodologie est évaluée pour la propagation des ondes mécaniques dans les milieux complexes, jusque-là simulée dans le solveur d'ordre élevé PROSPERO. Enfin un dernier solveur pour la simulation numérique de comportement des feux de végétation est porté par l'équipe en collaboration avec l'Université de Toulon.

Les applications visées par l'équipe TONIC sont très nombreuses et variées : le transport et le stockage du CO₂, le stockage d'hydrogène, la combustion et la sécurité de l'hydrogène (transition, déflagration, détonation), les turbomachines, les feux de végétations ...

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations du précédent rapport ont été largement suivies :

1) « L'équipe devra accueillir plus d'étudiants en thèse ou en post-doctorat »

L'accueil des post-doctorants a été porté à six pendant la période et celui des doctorants a été presque quadruplé avec quinze doctorants.

2) « Il est indispensable de chercher des financements dans l'avenir afin de soutenir les recherches proposées dans le projet de l'équipe »

Cette forte augmentation s'explique par une augmentation des financements propres et s'accompagne d'une augmentation des publications.

3) « L'équipe sera de taille réduite (au cours du prochain quinquennat), ce qui pourra constituer un risque, car les nombreux thèmes affichés apparaissent peu liés entre eux au sein de l'équipe, alors qu'ils rassemblent à l'extérieur de larges communautés scientifiques »

Des collaborations ont été lancées au sein de l'Institut IMI (IRPHE, IUSTI, LMA) et les collaborations inter-équipe ont aussi augmenté avec sept publications communes sur un total de 82 durant la période.

EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE

Personnels permanents en activité	
Professeurs et assimilés	4
Maîtres de conférences et assimilés	1
Directeurs de recherche et assimilés	1
Chargés de recherche et assimilés	2
Chercheurs des EPIC et autres organismes, fondations ou entreprises privées	0

Personnels d'appui à la recherche	0
Sous-total personnels permanents en activité	8
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui à la recherche non permanents	1
Post-doctorants	3
Doctorants	11
Sous-total personnels non permanents en activité	15
Total personnels	23

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe TONIC effectue une recherche originale, très variée et de qualité avec un nombre de publications excellent et en forte hausse dans les meilleures revues internationales. L'équipe a su aller chercher des financements propres augmentant ainsi grandement son implication dans la formation par la recherche.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe TONIC effectue une recherche très diversifiée sur la thermodynamique, les ondes, le numérique, les interfaces et la combustion. L'équipe est ainsi la première à avoir développé une méthode LBM adaptée pour la combustion sur des maillages non-uniformes. L'équipe a aussi développé un nouveau modèle physique de propagation non-linéaire d'ondes dans les milieux solides endommagés (collaboration avec des chercheurs de l'IUSTI et du LMA) ainsi qu'un modèle thermodynamique totalement prédictif basé sur une équation d'état cubique pour les équilibres de phases dans les électrolytes aqueux. La majorité des outils numériques développés dans l'équipe sont transmis aux secteurs privés ou académiques. Cette activité de recherche de qualité se traduit par un nombre de publications dans les meilleures revues internationales en forte hausse (*PoF*, *JFM*, *Computers and Fluids*, *Fire Safety Journal*, *Combustion and Flame*, ...). Le taux de publication par ETP et par an est de 2,4 ce qui est élevé dans cette discipline.

L'équipe a su tisser des relations partenariales avec les acteurs non-académiques (industrie, CNES, CEA, DGA ...) en grand nombre et dans les différents axes de recherche, souvent liés à des problématiques sociétales comme la transition énergétique. On compte ainsi trois contrats privés pour un montant total de 102 k€ (3,09 k€/an/ETP) et plusieurs projets publics : deux PHC, un contrat européen, un projet CNES, une ANR, un Défi CNRS, trois projets AMIDEX pour un total de 809 k€ (24,51 k€/an/ETP). Le budget propre de l'équipe TONIC représente donc 7,72 % du budget du M2P2 hors dotation des tutelles. Ces financements propres lui ont permis d'augmenter significativement le nombre de doctorants et de post-doctorants encadrés pendant la période.

L'activité de modélisation des feux de végétation bénéficie d'une couverture médiatique très notable.

L'équipe est également impliquée dans des tâches administratives tant au niveau de la recherche que de l'enseignement (responsabilité des stages à l'ECM, représentation de la CDFI (Conférence des directeurs des écoles français d'ingénieurs), direction du département de mécanique de l'AMU, direction adjointe de l'IMI, membre de comité scientifique ...).

Points faibles et risques liés au contexte

Le nombre de publications par enseignant-chercheur est très disparate (de deux à vingt et une publications pendant la période).

Le nombre de thématiques de l'équipe reste élevé par rapport au potentiel de chercheurs, d'autant plus que deux chercheurs vont partir à la retraite, notamment au CNRS. Le non-renouvellement de ces postes mettrait en danger les thématiques déjà trop nombreuses de l'équipe. L'activité numérique s'appuie sur un ingénieur de recherche en CDI de mission dont il faut assurer le financement.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

L'équipe TONIC doit rationaliser le nombre de ses thématiques de recherche ainsi que le nombre de solveurs numériques qu'elle développe. Une réflexion doit aussi être menée afin de dégager des objectifs scientifiques clairs et reconnus, et ne pas se limiter à la simple application du code Lattice-Boltzmann à de nouveaux domaines.

Enfin un dialogue avec les tutelles doit être mis en place rapidement afin d'anticiper et préparer le renouvellement des départs à la retraite à venir mais aussi pour pérenniser le support d'ingénieur calcul sous peine de perdre ses compétences numériques.

Équipe 3 : Procédés et mécanique aux petites échelles (PROMETHEE)

Nom de la responsable : Mme Pierrette Guichardon

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe affiche des compétences et activités dans les domaines de la mécanique des milieux continus et du génie des procédés, en utilisant des approches expérimentales et numériques afin de produire des modèles supportés par une connaissance accrue des mécanismes mis en jeu. Cette ambition est déclinée dans quatre directions.

L'équipe étudie les écoulements microfluidiques de fluides complexes et biofluides, en particulier des particules déformables biomimétiques comme les gouttes, capsules, vésicules. Elle développe des outils numériques avancés capables de simuler la dynamique sous écoulement de ces micro-objets déformables. L'équipe étudie également le micromélange et le transport interfacial d'espèces chimiques, notamment pour la production d'émulsions simples et/ou multiples stables et l'encapsulation par polymérisation interfaciale dans des systèmes microfluidiques. En collaboration avec l'équipe TONIC, l'équipe aborde la modélisation des séparations membranaires à travers l'étude des phénomènes de transfert. Finalement, l'équipe étudie les écoulements granulaires monodisperses et bidisperses en tambour tournant pour optimiser les mélangeurs de poudres.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations formulées lors de la dernière évaluation ont été prises en compte avec soin.

1) « Le comité d'experts recommande de renforcer les activités communes à l'équipe en profitant des compétences complémentaires existantes. Un effet d'entraînement initié par les seniors serait très bénéfique pour dynamiser les actions collectives ».

L'équipe a renforcé ses activités communes en proposant des sujets de thèse à l'interface entre les compétences complémentaires d'expérimentation et de modélisation, en particulier à travers une action expérimentale/numérique sur la problématique de l'élaboration de gouttes contrôlées au sein d'une micropuce.

2) « Le comité d'experts recommande de recruter dans un avenir proche pour ne pas devenir fortement sous-critique et de renforcer la visibilité internationale et nationale de l'équipe par des collaborations avec des professeurs invités et avec des invitations pour des séminaires donnés par des extérieurs au laboratoire. Pour renforcer à l'avenir l'attractivité, le prochain contrat doit être l'occasion d'augmenter le nombre d'HDR de l'équipe. Actuellement, seuls les 2 responsables d'équipe peuvent officiellement encadrer des doctorants ».

Le risque de sous-criticité de l'équipe a été pris en considération par le recrutement d'un MCF au printemps 2022. De même, une HDR a été soutenue, ce qui donne 75 % d'HDR dans l'équipe.

3) « Le comité d'experts recommande de renforcer les activités contractuelles de l'équipe »

Pour les activités contractuelles, l'équipe réalise régulièrement des contrats sur la partie expérimentale et est partie prenante dans la création de la start-up Capsudev Lab prévue en avril 2022.

4) « Le comité d'experts recommande de poursuivre les collaborations dans l'équipe et entre les équipes du laboratoire ».

L'équipe entretient des collaborations avec l'équipe TONIC sur la modélisation des séparations membranaires et la modélisation thermodynamique des équilibres liquide-vapeur et avec l'équipe ITC sur la modélisation du battement ciliaire.

EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE

Personnels permanents en activité		
Professeurs et assimilés		2
Maîtres de conférences et assimilés		0
Directeurs de recherche et assimilés		0
Chargés de recherche et assimilés		2
Chercheurs des EPIC et autres organismes, fondations ou entreprises privées		0

Personnels d'appui à la recherche	0
Sous-total personnels permanents en activité	4
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche non permanents	0
Post-doctorants	0
Doctorants	6
Sous-total personnels non permanents en activité	7
Total personnels	11

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

Les activités de recherche de l'équipe s'inscrivent à l'interface entre génie des procédés et la mécanique des fluides, avec des apports scientifiques dans les deux communautés. L'ensemble des activités sont toutes scientifiquement très pertinentes et susceptibles de produire des résultats innovants. Le niveau de publication est très bon. L'équipe a aussi une activité significative avec le monde socio-économique. Elle développe des études en lien direct avec des enjeux sociétaux de l'énergie et de l'environnement.

Points forts et possibilités liées au contexte

Les recherches relatives aux champs applicatifs retenus par l'équipe (les particules déformables biomimétiques et leur suspensions, l'utilisation de la micro-fluidique pour les procédés tels que l'encapsulation, la modélisation des séparations membranaires et les écoulements granulaires) sont toutes scientifiquement très intéressantes. Une des caractéristiques de l'équipe est d'être à l'interaction de la mécanique des fluides et du génie des procédés, ce qui est bien montré dans le choix des journaux dans lesquels l'équipe publie : *Journal of Computational Physics*, *Computers and Fluids*, *Journal of Fluid Mechanics*, *Physical Review Fluids*, *Physics of Fluids*, *Physical Review E*, *Soft Matter*, *Chemical Engineering Science*, *Chemical Engineering Research and Design*, *Industrial and Engineering Chemistry Research*. L'équipe participe à 15 sur 22 des publications inter-équipe. Les compétences de l'équipe en transfert de chaleur et de masse à l'échelle microscopique lui a permis de collaborer avec EDF sur la thermo-hydraulique des générateurs de vapeur, l'étude des phénomènes de changement de phase liquide-vapeur dans l'encrassement des surfaces d'échange. Une collaboration débute avec le laboratoire d'immunologie de Marseille Luminy (CIML) sur la thématique de mécano-transduction en immunologie.

L'équipe a fait un effort important pour augmenter le nombre de publication par ETP par rapport à la dernière évaluation, tout en conservant la volonté de privilégier la qualité à la quantité et de confronter expérience et simulation, exercice souvent chronophage mais aussi gage de qualité. Le niveau atteint est très bon avec 2,3 publications/ETP/an, à noter la très bonne participation des doctorants aux publications.

L'accueil de collaborateurs d'une société spécialisée dans les procédés (Azurisotopes) a conduit à un nouveau procédé de fabrication de capsules en polyurée non toxiques (brevet déposé) et à un projet de création de la start-up Capsudev Lab.

Le budget propre de l'équipe est significativement supérieur à la dotation récurrente (55 k€ pendant la durée du contrat) dont elle bénéficie : 310 k€ sur fonds publics (1 projet ANR, 1 projet AMIDEX, 1 projet CENTURI, 1 dispositif Cifre, 2 bourses de thèse régionales) et 90 k€ issus de partenariats avec des entreprises (EDF, Innovaclean et Helioscience). Les membres de l'équipe sont responsables d'un parcours et de quatre unités d'enseignement à l'École Centrale de Marseille dont l'un d'eux est membre du conseil scientifique.

Points faibles et risques liés au contexte

La taille de l'équipe (2CR et 2 PR) est très (trop) réduite, en particulier en génie des procédés, en regard de la variété et la complexité des questions scientifiques abordées (suspension d'objets déformables, encapsulation, séparations membranaires, milieux granulaires). Ce sentiment est renforcé par la multiplicité des méthodes et outils déployés et/ou développés au sein de l'équipe (un code de calcul par application).

Deux doctorants sur les cinq venant d'une université étrangère se sont retrouvés en situation d'échec, ce qui peut laisser présager quelques difficultés de recrutement ou à tout le moins une certaine inadéquation entre les attendus de l'équipe et les capacités effectives de certains doctorants recrutés.

La masse critique n'est pas encore atteinte, ce qui risque d'empêcher l'équipe de monter en puissance dans la collaboration fructueuse avec la société Azurisotopes sur la fabrication de microcapsules en polyurée.

Le positionnement de l'équipe entre mécanique des fluides et génie des procédés n'est pas facile à assumer, même s'il est central au niveau du M2P2.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

L'équipe doit continuer à jouer un rôle central dans l'objectif de l'unité de rapprocher les thématiques de la mécanique des fluides et du génie des procédés. Elle a l'expérience dans la co-construction des problématiques scientifiques entre ces deux disciplines qu'elle devrait partager avec les autres équipes.

Le comité recommande à l'équipe de développer des collaborations avec les autres équipes de génie des procédés, ce qui pourrait lui permettre de compenser en partie son faible effectif en génie des procédés.

L'équipe doit poursuivre son effort pour accroître les collaborations avec le monde industriel.

Équipe 4 : Équipe Procédés Membranaires (EPM)

Nom du responsable : M. Philippe Moulin

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe EPM composée de six enseignants chercheurs permanents est située sur le site de l'Arbois. Elle s'intéresse très majoritairement aux procédés membranaires depuis la caractérisation des membranes jusqu'à leur mise en œuvre dans des procédés biologiques et/ou intensifiés et/ou intégrés, de l'échelle pilote de laboratoire à des installations industrielles, en passant par l'étude des transports. Les domaines d'applications sont variés : traitements d'effluents industriels par pervaporation, industrie pharmaceutique, qualité de l'eau pour l'aquaculture et la réduction des antibiotiques, réutilisation des eaux usées traitées, etc.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

La majeure partie des recommandations faites lors de la précédente évaluation a été suivie et quantifiée :

1) « *Les ressources humaines en personnel technique d'appui à la recherche doivent être augmentées* »

Les effectifs ont été accrus avec un EC en plus et le recrutement d'un IR sur financements propres garant d'une recherche expérimentale sur pilotes notamment.

2) « *Le comité d'experts recommande d'augmenter le rayonnement international par participation aux sociétés* »

Les projets collaboratifs ont augmenté avec des partenaires du site (4 autres laboratoire), nationaux (2 laboratoires) et internationaux (3 projets européens) tout en conservant une activité contractuelle importante. Cependant, les actions d'amélioration menées en termes de sécurité ne sont pas précisées mise à part l'indication d'une amélioration liée au recrutement de l'IR.

3) « *Le comité d'experts recommande de regrouper les objectifs, non pas sur les applications, mais autour de thèmes scientifiques comme le vieillissement (colmatage) des membranes et les systèmes séparation membranaire/biofilm* »

La présentation de l'équipe avec une ligne directrice et des domaines scientifiques permettant de mieux voir les liens entre les activités de chaque EC reste à améliorer car elle est toujours décrite avec six axes portés chacun par un EC.

EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE

Personnels permanents en activité	
Professeurs et assimilés	2
Maîtres de conférences et assimilés	4
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	0
Chercheurs des EPIC et autres organismes, fondations ou entreprises privées	0
Personnels d'appui à la recherche	0
Sous-total personnels permanents en activité	6
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche non permanents	2
Post-doctorants	1
Doctorants	5
Sous-total personnels non permanents en activité	9
Total personnels	15

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

Les activités menées par l'équipe EPM sont dynamiques et importantes tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif au regard notamment des effectifs. De plus, la recherche menée, très expérimentale, est développée sur des installations pilotes en nombre, mutualisées sur une plateforme labellisée par l'AMU ou mobiles (containers) pour les sites industriels. Un bon équilibre existe entre recherche sur projets collaboratifs et contractuels. Ainsi, de façon remarquable, les activités couvrent des TRL allant de 1-3 à 7-9. Le leader de l'équipe a une visibilité et reconnaissance nationale et internationale ce qui conduit au portage de nombreux projets.

Points forts et possibilités liées au contexte

La production scientifique s'est maintenue à nombre de permanents "actifs" constant (l'arrivée d'un nouvel EC étant compensée par la prise de responsabilités importantes par un autre) avec 53 ACL (soit 11,7 % du M2P2) pendant la période (avec un maximum de douze en 2018 et 2020 et un minimum de cinq en 2016), dont trois avec l'équipe TED depuis 2019, dans des revues de génie des procédés et de domaines applicatifs de qualité (e.g. : *Chemical Engineering Research and Design*, *Journal of Membrane Sciences and Research*, *Membranes*, *Water Science and Technology Science*, *Aquacultural engineering*, etc.), deux brevets et trois déclarations d'invention (soit près de 42 % de ceux du M2P2), deux chapitres d'ouvrage et 123 communications dans des colloques ou congrès (en augmentation malgré la période Covid). À cette production académique et de valorisation se rajoutent huit articles ou ouvrages dans des revues professionnelles ou techniques.

Les ressources financières de l'équipe sont diversifiées et équilibrées avec des projets collaboratifs de site (2 : AMIDEX, IMI), nationaux (1 : ANR) et internationaux (3 européens FEAMP) pour un montant total de 1 080 k€ notifiés pendant la période et des contrats industriels (1 471 k€ au cours de la période). La somme de ces ressources propres (2 551 k€) représente 19,1 % de celles de l'unité.

L'équipe a une activité expérimentale et de développement de cinq pilotes semi-industriels allant jusqu'à des TRL 7-9. La majorité de ces pilotes contribuent à une plateforme labélisée de site alors que d'autres sont des unités mobiles pour sites industriels.

Le leader de l'équipe est connu et reconnu dans le monde académique et industriel ce qui se traduit par le portage ou la participation d'un nombre important de projets collaboratifs et partenariaux.

L'équipe a une reconnaissance nationale et internationale d'expertise dans le domaine de la qualité de l'eau, en particulier pour l'aquaculture/pisciculture, avec des collaborations fortes (IFREMER, société Eaux de Marseille notamment).

Points faibles et risques liés au contexte

Le support en personnel technique d'appui à la recherche reste encore fragile malgré le recrutement sur fonds propres depuis 2016 d'un IR et d'apprentis de DUT Chimie pour des périodes de deux ans. En effet, l'activité de l'équipe est très majoritairement expérimentale sur des pilotes imposants et mobiles avec de nombreux projets ou contrats industriels et partenariaux.

Les ressources humaines de l'équipe comprennent six enseignants-chercheurs permanents (pas de personnel CNRS) impliqués dans des responsabilités pédagogiques ou mandats, un IR sur contrats et des chercheurs non permanents (doctorants et post-doctorants) qui représentent entre 11 et 16 % de celles de l'unité.

L'activité scientifique et contractuelle de l'équipe ainsi que son rayonnement sont très majoritairement portés par un seul EC (par exemple : 95 % des contrats et des directions de thèses soutenues ou en cours, 90 % des organisations de colloques, comités d'expertises, activités éditoriales, etc.).

La production scientifique présente une certaine hétérogénéité entre EC de l'équipe avec un spectre allant, au cours de la période d'évaluation, de 4 ACL à 42 ACL par EC pour les 53 ACL produites.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

La présentation de l'équipe devrait mieux faire apparaître les interactions entre axes, chacun porté par un EC, ainsi que la ligne directrice scientifique autour des procédés membranaires.

Le portage des projets et du rayonnement très majoritairement réalisé par un EC devrait être plus partagé *a minima* dans la présentation de l'équipe (certaines thèses sont bien co-dirigées et des ACL font apparaître

plusieurs EC de l'équipe par exemple) et en pratique par le passage de l'HDR de deux MCF expérimentés qui pourraient ainsi valoriser leurs activités et les développer.

Le personnel support à la recherche doit être pérennisé voire augmenté afin de maintenir l'activité de recherche expérimentale et contractuelle au niveau actuel.

Les collaborations nationales pourraient être amplifiées au travers de projets collaboratifs ce qui permettrait en outre de maintenir voire accroître la production scientifique académique (ACL notamment) ainsi qu'une recherche plus fondamentale de compréhension des mécanismes mis en jeu dans les procédés développés.

Équipe 5 : Procédés et Fluides Supercritiques (FSC)

Nom des responsables : Mme Élisabeth Badens / Mme Christelle Crampon

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe Procédés et Fluides Supercritiques travaille sur les procédés utilisant le CO₂ supercritique, en particulier l'extraction sur matière solide, le fractionnement de mélanges liquides, l'élaboration de systèmes à libération contrôlée et la stérilisation. L'équipe caractérise les équilibres de phases sous pression et étudie les phénomènes de transfert en milieu supercritique. Les fluides supercritiques sont aussi appliqués sur des matrices polymériques pour l'élaboration de systèmes à libération contrôlée.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

L'équipe a diversifié le choix des journaux pour la publication des articles scientifiques, notamment dans le domaine de la pharmaceutique. L'équipe collabore avec les équipes TED et TONIC sur différents sujets. Pendant la période, l'équipe a bien diversifié ses collaborations internationales. Outre la relation bien établie avec la Chine, l'équipe a développé des collaborations avec l'Afrique du Sud, l'Italie, la Belgique, le Royaume-Uni et les États-Unis. Cependant, pour la recommandation sur une réflexion sur les verrous scientifiques à étudier dans le cadre des thématiques « extraction et fractionnement par fluide supercritique » et « fondamentaux et modélisation », la réponse n'a été que partielle en précisant que depuis 2020 trois thèses ont été démarrées. Sur le rayonnement et la visibilité de l'équipe qui est essentiellement assurée par la responsable de l'équipe, le changement de responsabilité en cours de contrat par un membre de l'équipe, qui par ailleurs représente l'équipe dans une action COST est une réponse satisfaisante à la recommandation.

EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE

Personnels permanents en activité	
Professeurs et assimilés	1
Maîtres de conférences et assimilés	4
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	0
Chercheurs des EPIC et autres organismes, fondations ou entreprises privées	0
Personnels d'appui à la recherche	0
Sous-total personnels permanents en activité	5
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui à la recherche non permanents	1
Post-doctorants	1
Doctorants	9
Sous-total personnels non permanents en activité	11
Total personnels	16

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe Procédés et Fluides Supercritiques couvre une activité assez large et de grande qualité sur les procédés avec le CO₂ supercritique en termes d'études et d'applications avec un réseau remarquable de collaborations académiques et industrielles variées. Elle a développé des collaborations académiques importantes, y compris avec d'autres équipes du M2P2. Elle s'implique aussi beaucoup avec le monde socio-économique pour le développement des applications industrielles des procédés supercritiques.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe s'intéresse à la compréhension des phénomènes de cristallisation par modélisation moléculaire, à la mesure de tensions interfaciales en milieu CO₂ supercritique, à la compréhension du comportement des polymères en milieu CO₂ supercritique et à l'étude des mécanismes de stérilisation en milieu CO₂ supercritique. L'équipe collabore avec deux équipes du M2P2 : l'équipe TED pour les mesures de températures caractéristiques par calorimétrie sous pression et de rhéologie sous pression ; l'équipe TONIC pour la modélisation de la Widom line. Dans les perspectives scientifiques, il est prévu de développer des études de simulations numériques pour étudier les écoulements dans les autoclaves en milieu poreux, ce qui devrait faire l'objet de collaborations internes au M2P2.

L'équipe a des collaborations industrielles importantes sur des sujets divers comme le fractionnement par CO₂ supercritique de mélanges complexes d'intérêt industriel (Bontoux SAS et Total TCAS), le séchage de matériaux par CO₂ supercritique (Rhodia-Solvay), l'extraction par CO₂ supercritique pour extraire des composés à haute-valeur ajoutée (Symrise, Rouge-Français, CEA), le développement d'un procédé de teinture supercritique de textiles étroits (Satab), le développement d'implants intravitréens à libération prolongée d'anticorps (laboratoires Thea et le Centre Monticelli Paradis d'Ophtalmologie).

L'équipe est à l'origine d'un « Research Center on Supercritical Fluid Technology applied to Vision Science », qui associe le M2P2 et l'université chinoise « He uUniversity » (Shenyang, Chine) et le partenaire industriel « He Vision Group » (Shenyang, Chine). Ce centre pourrait devenir une structure CNRS de type IRN ou IRL avec deux autres laboratoires français.

L'équipe est un contributeur important de la revue *Journal of Supercritical Fluids* (17 articles). Elle publie également dans des revues plus généralistes, comme *Molecular Pharmaceutics*, *International Journal of Pharmaceutics*, *Chemical Engineering Journal* ou *Powder Technology*.

L'équipe est à l'origine de la création de la société Cristolab en mars 2019, spécialisée dans la détermination des caractéristiques de cristaux ou de macromolécules.

L'équipe a une capacité importante de contractualisation avec les industriels. Son budget se répartit en 261 k€ (17,5 k€/an/ETP) de budget public avec un projet BPI/Région et une ANR, et seize contrats privés (ALCHIMEDICS, SOLVAY, TOTAL, LABORATOIRE THEA, RHODIA ...) pour un montant total de 752 k€ (50,13 k€/an/ETP).

Points faibles et risques liés au contexte

Le positionnement national et international de l'équipe n'est pas développé.

L'équipe a beaucoup d'activités de recherche et de fortes relations avec l'industrie avec un effectif relativement réduit, qui par ailleurs a une implication importante dans l'enseignement.

L'équipe FSC est la seule à ne pas co-publier avec les autres équipes, et ce malgré plusieurs collaborations inter équipes affichées. Cette remarque est à nuancer car une co-publication est parue en 2022.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Les objectifs scientifiques de l'équipe indépendamment des domaines d'application sont à mieux définir, notamment en thermodynamique pour les diagrammes de phase nécessaires aux différentes opérations unitaires et sur les mécanismes d'action du CO₂ supercritique pour l'extraction des métabolites ou pour la décontamination.

La réflexion sur des objectifs scientifiques communs avec les équipes de mécanique des fluides doit se poursuivre.

L'activité scientifique devrait privilégier les thèmes permettant d'accroître l'originalité par rapport aux autres équipes travaillant sur les procédés en fluides supercritiques.

L'équipe doit poursuivre son effort de co-publications avec les autres équipes de l'unité.

Équipe 6 : Traitement des Eaux et Déchets (TED)

Nom des responsables : Mme Audrey Soric / M. Jean-Henry Ferrasse

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe TED s'intéresse aux procédés de traitement de l'eau et des déchets solides en vue de leur valorisation. Deux échelles sont étudiées. À l'échelle du procédé, une meilleure compréhension du fonctionnement des réacteurs en vue de leur dimensionnement est recherchée. Mais l'échelle de la filière complète est aussi étudiée de façon à parvenir à une optimisation globale et multicritère.

Les approches développées sont à la fois expérimentales et de modélisation, l'équipe propose également des développements méthodologiques.

Les procédés considérés sont d'une part les procédés en eau sous-critique (oxydation en voie humide, liquéfaction de la biomasse) et les bioréacteurs à culture fixée. Le couplage entre ces deux types de procédés mais aussi avec les procédés membranaires ou de précipitation est abordé.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Lors de la précédente évaluation, le comité d'experts a émis six recommandations à destination de l'équipe qui ont été prises en compte ou auxquelles l'équipe a répondu :

1. L'équipe n'a pas développé de collaborations avec l'équipe FSC sur les thèmes de l'eau sous- ou super-critique. En effet, les procédés en eau sous-critique de l'équipe TED restent éloignés des applications pharmaceutiques en CO₂ super-critique de l'équipe FSC. Les deux équipes joignent toutefois leurs compétences dans l'activité calorimétrie haute pression. Les collaborations avec l'équipe EPM portent quant à elles sur le couplage entre les procédés OVH et les procédés membranaires ; elles font l'objet de deux publications communes.
2. Le thème « méthodes » de la précédente période, qui regroupait des activités très variées, n'apparaît plus en tant que tel dans les thématiques de recherche de l'équipe. Seule l'activité sur la rhéologie (boues de stations d'épuration, mucus...) est conservée. Le volet symbiose industrielle est maintenant abandonné.
3. Le point 3 n'a pas pu être amélioré, les ressources en termes de personnel d'appui à la recherche sont toujours très insuffisantes dans une équipe où l'activité expérimentale est essentielle. Le laboratoire a toutefois recruté une technicienne CNRS en génie des procédés dont les activités sont partagées entre les équipes 4, 5 et 6.
4. Pendant la période, l'équipe a renforcé ses collaborations internationales (Colombie et Japon). La présence dans l'EFCE a par ailleurs permis le démarrage d'une thèse en cotutelle avec l'Université de Ghent et l'EPFL.
5. L'équipe a continué à entretenir des liens importants avec le monde socio-économique, ce qui reste un de ses points forts (en particulier à travers des dispositifs Cifre ou d'autres financements industriels qui représentent 1/3 des thèses soutenues ou en cours, et des contrats).
6. L'équipe s'est recentrée sur ses deux thématiques principales ce qui lui a permis de démarrer trois projets ANR en lien avec les traitements biologique et thermique.

EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE

Personnels permanents en activité	
Professeurs et assimilés	3
Maîtres de conférences et assimilés	3
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	0
Chercheurs des EPIC et autres organismes, fondations ou entreprises privées	0
Personnels d'appui à la recherche	0
Sous-total personnels permanents en activité	6
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1

Personnels d'appui à la recherche non permanents	0
Post-doctorants	0
Doctorants	6
Sous-total personnels non permanents en activité	7
Total personnels	13

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe TED s'intéresse aux procédés de valorisation thermo-chimique et biologique de l'eau et des déchets à des fins de production de vecteurs énergétiques et de récupération des matières premières secondaires. Ses recherches s'inscrivent donc parfaitement dans le contexte de la transition énergétique et environnementale et lui permettent d'avoir un très bon niveau d'activité contractuelle avec à la fois des succès dans les appels à projet publics et des liens étroits avec le monde socio-économique. La production scientifique est importante, tant d'un niveau quantitatif que qualitatif.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe TED est une équipe dynamique, qui se positionne sur des procédés aux forts enjeux sociétaux et industriels : le traitement thermique et biologique de l'eau et des déchets, ce qui lui permet d'avoir une forte activité contractuelle avec en particulier le succès à trois appels à projets ANR, un DGA, trois AMIDEX, un IML, deux PEPS CNRS, un InterLabo CNRS, un projet Région pour un montant de budget public de 813 k€ (45 k€/an/ETP), et dix contrats industriels pour un montant total de 187 k€ (10,4 k€/an/ETP) pendant la période. L'équipe développe des recherches qui contribuent à l'accroissement des connaissances (étude des transferts couplés à la réaction en systèmes polyphasiques, de la conversion des molécules organiques, modélisation...) et qui ont aussi un caractère applicatif marqué avec le développement de procédés innovants, ou de procédés couplés (dépôt de deux brevets, mise au point de trois prototypes/démonstrateurs au cours de la période).

Le niveau de production scientifique est très bon (2,9 ACL par an et par ETP) dans des journaux de référence relevant du génie des procédés, de l'environnement ou de l'énergie. Les publications reflètent les collaborations internes (sur le couplage de procédés notamment), ou externes : elles relèvent alors de la médecine, de la microbiologie, de la géologie.

Un tiers des publications associe au moins deux permanents de l'équipe, de même l'encadrement de la moitié des thèses soutenues ou en cours durant la période est partagé entre au moins deux enseignants-chercheurs de l'équipe, ce qui semble démontrer sa bonne cohésion.

La formation par la recherche est également un point fort de l'équipe avec treize thèses soutenues sur la période, et cinq en cours.

Points faibles et risques liés au contexte

Le positionnement national et international de l'équipe n'est pas développé.

Le support en personnel technique d'appui à la recherche reste insuffisant pour une équipe dont les études expérimentales constituent le cœur des activités.

L'équipe a une activité contractuelle intense mais est composée uniquement d'enseignants-chercheurs ayant tous une implication administrative importante par ailleurs (responsabilités de formation).

Les collaborations internationales restent à conforter, même si des actions ont été entreprises pendant la période, ainsi on relève très peu de publications avec des partenaires internationaux.

On relève des disparités entre les membres de l'équipe quant aux publications (de 1 à 6,6 ACL par ETP par an).

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

L'équipe doit mieux définir son positionnement scientifique au-delà des applications et continuer ses efforts pour développer des partenariats à l'international.

Une réflexion pourrait être entamée pour développer des collaborations internes avec les équipes de mécanique des fluides dans le domaine de la simulation hydrodynamique et multiphysique.

Il serait par ailleurs souhaitable d'augmenter les ressources humaines en personnel d'appui à la recherche.

DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

DATES

Début : 22 novembre 2022 à 08h30

Fin : 23 novembre 2022 à 15h00

Entretiens réalisés en présentiel

PROGRAMME DES ENTRETIENS

Mardi 22 novembre 2022 (Site de Château Gombert)	
08h30-08h45	Présentation de l'évaluation par CS
08h45-10h00	Bilan de l'unité (30 min présentation + 45 min questions)
10h00-10h30	Pause
10h30-11h30	Équipe 1 : Instabilités, Turbulence et Contrôle (ITC)
11h30-12h15	Équipe2 : Thermodynamique, Ondes Numériques, Interface, Combustion (TONIC)
12h15-13h00	Équipe 3 : Procédés et mécanique aux petites échelles (PROMETHEE)
13h00-14h00	buffet/discussion scientifique
14h00-14h30	Visite du site de Château Gombert
14h30-15h15	Entretien avec les doctorants
15h15-16h00	Entretien avec les PAR
16h00-16h30	Pause
16h30-17h15	Entretien avec les chercheurs/EC
17h15-18h00	Entretien avec les tutelles
18h00-18h45	<i>Débriefing du comité à huis clos</i>
18h45	<i>Transfert vers Hôtel Site de l'Arbois</i>
	<i>Dîner à huis clos</i>
Mercredi 23 novembre 2022 (site de l'Arbois)	
08h00-08h45	Équipe 4 : Équipe procédés membranaires (EPM)
08h45-09h30	Équipe 5 : Procédés et fluides supercritiques (FSC)
09h30-10h15	Équipe 6 : Traitement des eaux et déchets (TED)
10h15-10h45	Pause
10h45-11h15	Présentation du projet de l'unité
11h15-12h30	Visite des laboratoires du site de l'Arbois
12h30-13h30	Déjeuner à huis clos
13h30-14h15	Entretien avec la direction du laboratoire
14h15-15h00	<i>Débriefing du comité à huis clos</i>

OBSERVATIONS GÉNÉRALES DES TUTELLES

Le Président de l'université

au

Département d'Évaluation de la recherche -
Hcéres

Objet : Observations de l'unité relatives au
rapport d'évaluation des experts Hcéres
N/Réf. : VPR/LS/AMS/CM – 23-06

Dossier suivi par : Cécile Merle
Tél : 04 13 94 95 90
cecile.merle@univ-amu.fr

Vos réf :
DER-PUR230023297 - M2P2 - Laboratoire de mécanique, modélisation et procédés propres

Marseille, le mercredi 1er mars 2023

Madame, Monsieur,

Je fais suite à votre mail du 26/01/2023 dans lequel vous me communiquez le rapport d'évaluation Hcéres de l'Unité de Recherche M2P2 - Laboratoire de mécanique, modélisation et procédés propres.

Comme demandé dans ledit mail, je vous indique que les tutelles du M2P2, Aix-Marseille Université, le CNRS et l'ECM n'ont pas d'observation à formuler.

Vous souhaitant bonne réception des présentes,

Je vous prie de croire, Madame, Monsieur, l'expression de mes respectueuses salutations.



Eric BERTON



Les rapports d'évaluation du Hcéres
sont consultables en ligne : www.hceres.fr

Évaluation des universités et des écoles

Évaluation des unités de recherche

Évaluation des formations

Évaluation des organismes nationaux de recherche

Évaluation et accréditation internationales



2 rue Albert Einstein
75013 Paris, France
T. 33 (0)1 55 55 60 10

hceres.fr

[@Hceres_](https://twitter.com/Hceres_)

[Hcéres](https://www.youtube.com/Hceres)