

GDR Mécanique et Physique

des systèmes complexes

DEMANDE DE CREATION

Acronyme : MéPhy

Direction

Benoît Roman, PMMH, Paris (CNRS, section 9)

Comité scientifique

Bruno Andreotti, PMMH, Paris (Univ P7, section 28)

Arezki Boudaoud, RDP et LJC, Lyon (ENS Lyon, section 66)

Philippe Claudin, PMMH, Paris (CNRS, section 5)

Olivier Dauchot, GULLIVER, Paris (CNRS, section 5)

Olivier Pouliquen IUSTI, Marseille (CNRS, section 10)

Sections CNRS de rattachement demandées :

Le Gdr Méphy demande son rattachement aux deux instituts :

INSIS, sections 9 et 10

INP, sections 5 et 2

Résumé du projet :

L'ambition du GDR MéPhy est de créer et d'animer une communauté entre physiciens et mécaniciens autour de problèmes de milieux hétérogènes pour lesquels se pose la question du passage d'une échelle microscopique à un comportement macroscopique complexe. Fracture, plasticité, friction, fluides complexes, interfaces, tissus vivants, géophysique, sont des objets d'étude communs aux deux communautés mais abordés avec des questionnement et outils différents, qu'il est important de partager. L'idée est d'initier pour ces problèmes une dynamique fructueuse similaire à celle qui fit le succès de « l'hydrodynamique physique » des années 90 lorsque mécaniciens et physiciens du non linéaire se sont regroupés autour des problèmes de mécanique des fluides. Cette demande s'appuie sur le succès du GDR 3166 (2008-2011) qui a montré la pertinence de ce rapprochement entre communautés et l'émergence d'une démarche et d'un langage commun. Le mode de fonctionnement proposé sera très ouvert, basé sur des réunions thématiques informelles et des réunions générales plus formelles (bisannuelles)

I. Introduction et motivation

Le GDR « Mécanique et Physique » (MéPhy) se propose de réunir au sein d'un même réseau différentes communautés de recherche fondamentale et appliquée, en Mécanique et en Physique, travaillant à la compréhension du comportement de systèmes mécaniques complexes par l'analyse des mécanismes physiques sous-jacents (agissant à petite échelle). Le GDR a pour ambition de lever nombre de verrous scientifiques dans le domaine de la mécanique de systèmes complexes du niveau le plus fondamental au savoir-faire des praticiens, par la mise en synergie des disciplines et la diversité des partenaires regroupés.

Des thématiques éclatées sur deux communautés

Cette demande de GDR est née du constat d'une convergence d'intérêts de plus en plus forte entre physiciens et mécaniciens. De nombreux sujets d'études sur des systèmes macroscopiques complexes, qui font intervenir des phénomènes multi-échelles et multi-physiques, ont émergés ces dernières années à la frontière entre mécanique et physique. Parmi ces problématiques où Physique et Mécanique interviennent, on trouve des problèmes de comportements des solides (étude de la rupture, mécanique non-linéaire des coques et des plaques, tribologie, plasticité ...), de comportements des fluides (interface, rhéologie des mousses, milieux granulaires, suspensions ...) mais également des thématiques émergentes à la frontière avec d'autres disciplines comme la géophysique (transport de sédiments, morphodynamique..) ou la biomécanique et la biophysique (croissance et mécanique des tissus, morphogénèse, ...). Dans tous ces problèmes, on retrouve de façon récurrente le problème du passage de l'échelle microscopique (atomes, grains, rugosité, pointe de la fissure, cellules) à l'échelle macroscopique et un besoin de prendre en compte le désordre présent dans les objets d'étude. Mécaniciens et physiciens se sont attelés à la tâche, avec des questionnements et des outils différents. D'une part, la physique statistique a fait d'énorme progrès conceptuels sur les situations hors équilibre ainsi que sur les effets du désordre inhérents à tous ces problèmes. D'autre part, en mécanique, le changement d'échelle est appréhendé grâce aux approches d'homogénéisation.

Malgré le recouvrement évident des objets d'études, physiciens et mécaniciens ne travaillent pas assez ensemble sur ces domaines. Pour les physiciens il est vital de connaître les résultats récents de mécanique indispensable pour aborder et décrire le comportement de ces objets macroscopiques. Pour les mécaniciens, il est très enrichissant de découvrir d'autres outils (mécanique statistique, physique non-linéaire) un questionnement et des configurations souvent différentes.

Notre but est donc de créer une communauté de « mécanique physique » autour de ces sujets à l'image de l'Hydrodynamique physique qui s'est développée dans les années 90 et à laquelle mécaniciens des fluides et physiciens du non-linéaire ont participé donnant des avancées majeures en mécanique des fluides (choas, instabilités, turbulence, ...). Désormais les deux communautés se sont mélangées et la distinction mécanicien-physicien en mécanique des fluides est estompée. Nous pensons qu'une dynamique similaire est en marche sur les thématiques nouvelles des systèmes hétérogènes complexes, comme l'a démontré le succès du GDR 3166 (2008-2011). L'objectif du nouveau GDR Méphy est d'encourager, développer et animer cette communauté émergente.

Une action structurante entre les instituts de physique INP et des sciences pour l'ingénieur INSIS

La communauté qui constitue le vivier de MePhy, si elle commence à exister, est composée de chercheurs appartenant ou associés aux quatre sections 2, 5, 9 et 10 du CNRS. En effet, la physique non-linéaire et la mécanique statistique sont des thèmes de la section 2; la rhéologie des fluides complexes, les problèmes de mouillage et d'interface sont étudiés en section 5 comme en 10; l'étude des fissures, de problèmes d'élasticité, de plasticité se fait principalement en section 9, etc. Par ailleurs, ces sections sont elles-même séparées sur les deux instituts INP et INSIS. Une véritable concrétisation de notre démarche nécessite ainsi une action structurante de rapprochement de ces différentes composantes à cheval sur les deux instituts.

Des interfaces communes avec d'autres disciplines.

Lors des quatre premières années du GDR 3166, nous nous sommes rendu compte que ces différentes problématiques se retrouvaient tout particulièrement dans l'étude de systèmes complexes multidisciplinaires. Les problèmes de fracture et tremblements de terre en géophysique, par exemple, mettent en jeu élasticité, friction et plasticité. Les études de biomécanique et biophysique du développement qui sont en plein essor à l'heure actuelle font appel aux notions d'élasticité, de résistance des matériaux, de rhéologie des fluides complexes, de mécanique des fluides, de changement d'échelle (passage de l'échelle de la cellule à celle du tissu). Pour aborder ces problèmes, il nous semble indispensable, au delà des communautés de mécaniciens et de physiciens, de collaborer avec des représentants des communautés de biologie et de géophysique.

II. Contexte national et international

Pour une communauté de Mécanique-Physique

Le GDR 3166 (2008-2011) s'était donné pour but de créer une nouvelle dynamique en rapprochant des communautés de la mécanique et de la physique :

- mécanique des matériaux
- mécanique de la rupture et de l'endommagement
- tribologie
- physique de la matière molle
- physique statistique
- physique non-linéaire.

et d'ouvrir ces thématiques vers des questions multi-disciplinaires (biologie, géophysique).

Dans de nombreux problèmes, ces thématiques sont en effet imbriquées. Par exemple, la rupture d'un matériau hétérogène fait intervenir à la fois le comportement mécanique effectif (homogénéisation) du matériau, la plasticité et la nature de la dissipation à la pointe de la fissure, et la propagation stochastique d'une interface dans un milieu désordonné. L'autre point de rencontre de ces différentes communautés (central à ce GDR) est la présence de phénomènes couplant des échelles multiples.

Grâce au GDR 3166, cette communauté est maintenant établie, mais elle demeure très fragile car elle est éclatée au sein du CNRS sur des instituts et des sections très différents.

La formation de cette communauté de « mécanique physique » a permis de commencer à mettre en commun des outils développés dans chaque discipline qui étaient relativement peu utilisés par les autres, alors qu'ils sont souvent complémentaires: dynamique moléculaire ou éléments finis pour les simulations numériques, tests macroscopiques de traction/flexion ou nano-indentation avec un microscope à force atomique, par exemple. Il faut continuer à favoriser de tels transferts.

Malgré la diversité des thèmes d'étude et des domaines scientifiques, il y a une philosophie commune qui est de rechercher une description réellement mécanistique des phénomènes, à différencier d'approches purement empiriques. Il ne s'agit pas de s'arrêter à la résolution d'équations phénoménologiques (Ginzburg-Landau, loi de comportement empirique), mais de remonter au comportement macroscopique du système étudié à partir des mécanismes élémentaires (à petite échelle). C'est naturellement l'objectif de

l'homogénéisation en mécanique des milieux continus, ainsi que celui de la physique statistique.

Ce rapprochement entre communautés de Mécanique et Physique s'inscrit dans une tendance générale au plan international. Le grand congrès de l'American Physical Society (le March Meeting) incorpore ainsi depuis 8 ans une session spécifique de mécanique qui croît chaque année (6 sessions consécutives en 2012). D'autres conférences internationales de premier plan ont également été organisées sur les systèmes complexes à la frontière entre mécanique et physique (« New Trends on Growth and Form » organisé par le GDR 3166, « Active Jammed Systems » New York 2012,...). Dans tous ces événements, on se rend compte que la communauté française est extrêmement bien représentée, sans doute grâce à la forte tradition de mécanique présente en France couplée au dynamisme d'une communauté de physique macroscopique de la matière molle initiée par P.G De Gennes. C'est cette synergie que le GDR Méphy se propose de développer et d'animer.

Citons également ces exemples de travaux internationaux entre mécanique et physique:

- la collaboration d'un mécanicien, J.Hutchinson (Harvard) et d'un physico-chimiste, G.Whitesides menant au développement de nouvelles méthodes de micro-fabrication utilisant flambage et délaminage ;
- les contributions de J.Rice (Harvard), mécanicien de la rupture et de la plasticité, à la géophysique et la sismologie.
- Le développement de méthodes de dynamique moléculaire pour l'étude de la rupture et de la plasticité par le physicien J.Langer (USCB)
- La formulation par le physicien théoricien de la matière condensée John Toner (Oregon) d'une hydrodynamique des suspensions actives, mise en application dans l'étude de la cellule à l'Institut Curie.
- La mesure des énergies libres de bio-molécules uniques par F. Ritort (Barcelona) en application directe des relations de fluctuation-dissipation généralisées proposées par D. Evans (Sydney, Australia) parmi d'autres.

Dans ces cas très différents, le transfert de compétences d'un champ à l'autre a été très fructueux.

Originalité du GDR et filiation

Ce projet de GDR est original de par son recouvrement de différentes communautés, et son affiliation mixte interdisciplinaire INSIS et INP. Il est l'aboutissement d'une réflexion conduite au sein du GDR 3166 qui s'est terminée en 2011.

Voici un rapide bilan des actions menées par le GDR 3166.

Des méthodes de travail originales.

Réunions thématiques d'une journée, centrées sur des questions scientifiques précises. Organisées autour d'exposés introductifs pédagogiques, et d'exposés courts sur les travaux en cours, leur but est de favoriser au maximum discussions et échanges informels, afin de permettre une vision scientifique cohérente et actuelle des différents aspects de la question. Le GDR 3166 a organisé en moyenne une réunion par trimestre, avec des sujets divers (rupture, tribologie, mécanique végétale), regroupant en moyenne 45 personnes (entre 25 et 90 personnes).

Collaboration avec les sociétés savantes

Le GDR 3166 a régulièrement travaillé avec l'Association Française de Mécanique et la Société Française de Physique : ceci permet une diffusion de l'information au cœur des communautés et d'élargir le public. Par exemple, en 2011, le GDR 3166 a participé à l'organisation d'une session thématique S10 « instabilité en mécanique du solide » au Congrès Français de Mécanique. Nos contacts à l'AFM y organisent également un colloque C6 «rencontre physique-mécanique» pendant 4 demi-journées. En 2012, plusieurs minicolloques sont soutenus par le GDR 3166 aux Journées de la Matière Condensée (MC01 Elasticité et géométrie des objets de basse dimensionnalité et MC04 Fractures dans les solides faibles et les fluides complexes : de la localisation des contraintes à la propagation)

Un outil central, la liste de diffusion

Le projet de GDR reprendra la liste de diffusion qui regroupe 220 personnes, et qui était l'outil principal de liaison entre les participants du GDR3166.

Une grande conférence internationale

Nous avons réuni 120 personnes du 20 au 25 juin 2010 (**New Trends On Growth And Form**) grâce à des intervenants (souvent étrangers) de très grande renommée internationale (chacun dans leur discipline) à l'occasion d'un hommage à un physicien précurseur de ces interfaces physique-mécanique-biologie, Y.Couder. Le GDR3166 a constitué le pilier de l'organisation et fourni une aide financière, qui a été très largement complétée par d'autres structures (CNRS, CEA, Institut des Sciences Complexes, MSC, Université de Provence, Fondation Pierre-Gilles de Gennes, Fédération dynamique des systèmes complexes).

Cette conférence a été un très grand succès, comme nous en témoignent de nombreux retour de collègues (en particulier étrangers). Cela a été un point culminant de l'activité du GDR avec une forte visibilité nationale et internationale.

<http://www.pmmh.espci.fr/~mephy/ogaf/>

Lire aussi le compte-rendu paru dans « reflets de la physique » – bulletin de la SFP.

<http://www.pmmh.espci.fr/~mephy/wiki/doku.php?id=rencontres:2010-2>

Colloque sur les suspensions : GISEC

Le but de ces journées « Granulaire Immérgés et Suspensions en Ecoulement » initiée par le GDR 3166, qui ont eu lieu en 2009, 2010 et 2011, a été de réunir les théoriciens, numériques et expérimentateurs qui s'intéressent à la rhéologie des suspensions non colloïdales concentrées et à la mécanique des milieux granulaires immergés. Chaque édition a réuni 60 personnes sur 2 journées consécutives.

Ouverture internationale

Le GDR 3166 se composait d'une vingtaine de laboratoires français, entretenant tous des collaborations avec des groupes étrangers de mécanique-physique. Nous transmettons (avec succès) les annonces de nos réunions aux collègues francophones des universités belges, anglaises et suisses, ainsi qu'aux post-doctorants, nombreux, dans des laboratoires européens. Des chercheurs étrangers ont participé à une majorité de nos réunions.

Une couverture insuffisante de certains domaines de la physique

Le rattachement du GDR 3166 uniquement à l'INSIS orientait les actions plus spécifiquement vers les laboratoires INSIS et limitait donc un peu la couverture de la communauté de physique. Un apport plus conséquent de la physique statistique serait bénéfique. Par exemple, le problème de changement d'échelle (passage micro-macro), qui se pose aussi bien en mécanique (homogénéisation) qu'en physique statistique ([moyenne thermodynamique](#)), est abordé avec des outils pourtant très différents. Le nouveau GDR MéPhy souhaite conserver le même esprit pour aborder d'autres objets à la frontière de la mécanique et de la physique, en approfondissant les interactions avec la physique statistique.

Positionnement par rapport aux autres GDR

De par les thématiques transdisciplinaires qu'il aborde, le GDR MéPhy est naturellement amené à interagir avec d'autres GDR.

Certaines approches physiques envisagées (études de singularités, dynamique multi échelles, non-linéarités, physique statistique hors équilibre ...) nous conduiront naturellement à interagir avec le GDR2949 Phenix (sur les phénomènes non linéaires). Du côté de la mécanique, certaines questions que nous souhaitons aborder concernent également le GDR 3176 (MeGe : Couplage Multi-Physiques et Multi-échelles en Mécanique Géo-environnementale) qui se concentre sur la mécanique des milieux granulaires en géotechnique et le GDR 3276 (transnat : transport naturel) focalisé sur les problèmes de transport granulaires en géophysique.

Les thématiques du GDR MéPhy trouvent également naturellement une extension dans les domaines des matériaux désordonnés (GDR 2983 Mousse et 2281 Matériaux vitreux) et de la Biomécanique (GDR 2610 Biomécanique du choc, GDR 2760 Biomécanique des fluides et des transferts, GDR 3070 Physique de la cellule au tissu).

Mais si des liens peuvent se tisser avec d'autres GDR sur des points particuliers, le GDR MéPhy occupera une place bien spécifique réunissant physiciens et mécaniciens partageant une démarche commune.

III. Projet scientifique

Le GDR MéPhy ne se focalise pas sur un seul objet d'étude particulier, mais réunit plutôt différentes communautés de mécanique et de physique (et éventuellement d'autres) afin de développer une démarche commune et partager des questionnements et des approches. Les thèmes suivants se trouvent à l'intersection de questions actuelles en Mécanique et en Physique, et font tous intervenir le point central du GDR : la présence simultanée de plusieurs échelles physiques pertinentes.

Les différents objets d'études :

Mécanique de la rupture

Fondamentalement, l'étude de la propagation d'une fissure fait intervenir l'échelle de la pointe (dissipation et plasticité) et sa forme macroscopique. Les questions d'actualité concernent l'amorce d'une fissure, le mode de rupture anti-plan (mode III), la propagation dans un milieu hétérogène et l'interaction entre plusieurs fissures. Ces questions sont abordées dans les deux communautés de Mécanique et de Physique, avec des approches complémentaires : élasticité linéaire, méthodes variationnelles, propagation stochastique. Le GDR est un cadre idéal pour intégrer ces différentes approches.

Coques et plaques

La mécanique des solides élancés est un sujet classique qui connaît un grand nombre d'applications industrielles. Toutefois, elle soulève encore des questions fondamentales relatives à la non-convexité de la limite d'épaisseur nulle :

- rigidification de la structure (rigidité géométrique), exploitable pour les applications
- apparition de solutions singulières (localisées).

Ces questions intéressent les deux communautés, en faisant appel à des développements asymptotiques et à des approches de physique statistique (description de structures froissées). Ici, la petite échelle est imposée par l'épaisseur de la plaque ou de la coque et son influence se ressent sur le comportement macroscopique.

Frottement et tribologie

La physique du frottement entre deux interfaces solides se manifeste à plusieurs niveaux imbriqués, jonctions d'épaisseur nanométrique où se localise le cisaillement, aspérités micrométriques qui portent les contraintes, blocs macroscopiques en contact, couplés élastiquement au sein d'une structure étendue. À chaque échelle, de l'atome à la faille, se posent de problèmes de physique de la matière condensée et de physique statistique, complémentaires de l'approche mécanique. L'étude de micro contacts uniques pose la question du frottement en terme de rhéologie de fluides nano-confinés, ce qui renvoie aux travaux actuels sur la plasticité et la dynamique de relaxation dans les amorphes. L'utilisation de contacts "mous" entre gels ou élastomères permet d'étudier des mécanismes élémentaires (ondes de glissement ou de décohésion) sur des échelles spatiales et temporelles anormalement grandes. Des expériences récentes ont mis en évidence la complexité des ondes interfaciales associées à l'établissement du glissement entre deux surfaces rugueuses. La propagation de ces ondes en présence d'une interface géométriquement ou chimiquement inhomogène est un problème essentiellement vierge pour lequel une collaboration entre mécaniciens et physiciens est essentielle.

Mouillage et matière molle :

Traditionnellement, les travaux en interactions fluide-structures n'englobent pas les effets capillaires. Cependant les forces de tension de surface sont dominantes à petite échelle (pour les micro-systèmes) ou lorsque les systèmes sont très déformables. Ces forces capillaires peuvent ainsi détruire des micro-structures, générer leur auto-organisation, ou permettre de mesurer les propriétés mécaniques de structures ultra-minces. Le dépôt de gouttes sur des substrats à très faible rigidité, ou sur des couches solubles, sont des situations qui exigent une description fine de la dynamique de la ligne de contact, couplée à la mécanique du solide, afin de passer du nanomètre (échelle des interactions physico-chimiques responsables de la capillarité) aux manifestations mécaniques macroscopiques. Ce nouveau domaine des interactions fluide-structure, en plein essor actuellement, nécessite ainsi le travail conjoint de mécaniciens et de physiciens.

Jamming et fluides complexes:

La rhéologie des fluides complexes se situe à l'intersection entre la rhéologie et la physique statistique. En effet, l'une des grandes questions actuelles en rhéologie des fluides complexes consiste à tenter de comprendre les mécanismes microscopiques responsables de leurs lois de comportement macroscopiques. De ce point de vue, les mousses (solides et liquides), les granulaires et les suspensions constituent des systèmes modèles qui présentent une grande richesse de comportements : transition de blocage, comportement à seuil, rhéologie dépendant de la pression, non-localité rhéologique, localisation des déformations, vieillissement, etc... Ce sujet pose des questions de physique statistique théorique, relatives aux systèmes hors-équilibre et aux systèmes

désordonnés, tout comme il réclame la formulation d'équations des milieux continus avec des variables internes. Il nous semble donc fructueux de confronter les résultats et les approches des différentes communautés (mécanique des sols, physique des verres, physique statistique hors d'équilibre, physique des milieux divisés).

En se situant à l'interface physique/mécanique, de nouvelles thématiques sont abordées, qui sont pertinentes dans d'autres domaines scientifiques. Lors des premières années du GDR 3166, nous avons remarqué un besoin de ces réunions multi-disciplinaires, pour lesquelles le GDR semble le seul acteur adapté, grâce à sa souplesse.

Hydrodynamique des systèmes actifs

On appelle particules actives, un objet mésoscopique capable de consommer de l'énergie prise à son environnement pour se déplacer dans une direction qui lui est propre. Il peut s'agir d'entités biologiques, allant de la bactérie aux humains, ou d'objets inanimés, allant de grains vibrés asymétriques aux robots. L'interaction d'un nombre important de ces objets conduit le plus souvent à l'émergence de comportements collectifs spécifiques, le plus remarquable étant la mise en écoulement spontanée, sans gradient externe. Aujourd'hui ce sujet est encore morcelé et dominé soit par l'étude de systèmes biologiques spécifiques, soit par l'analyse de modèles minimalistes inspirés de la physique statistique. Néanmoins les communautés commencent à se parler. A terme, il est évident que la nouvelle hydrodynamique à laquelle donnent naissance ces systèmes, développera pléthore d'instabilités de tous types, et que l'apport de l'hydrodynamique physique dans ce domaine sera déterminante.

Bio-mécanique et morphogénèse

Jusqu'à très récemment, les biologistes se sont focalisés sur une approche biochimique du développement des êtres vivants. Le rôle des contraintes mécaniques, bien connu pour les tissus osseux ou pour le bois, commence à susciter leur intérêt ; en effet, une croissance inhomogène génère des contraintes mécaniques, qui peuvent rétroagir sur le développement. Du point de vue de la mécanique, la description d'un milieu élastique en croissance pose des questions fondamentales liés aux grands déplacements et à la perte d'état de référence. Les instabilités accompagnant la croissance intéressent également la physique non-linéaire. Enfin, le passage entre échelles (cytosquelette, cellules, tissus) est un cadre idéal pour confronter les approches théoriques de mécanique (homogénéisation) et de physique statistique (moyennes thermodynamiques). Ainsi, les milieux vivants sont par essence complexes et multi-échelles, ce qui est en fait naturellement des objets d'intérêt pour le GDR.

Mécanique du développement végétal

L'idée que se font les biologistes de la morphogénèse de nouveaux organes (feuilles, branches) sur une plante est en train d'évoluer fortement avec les preuves toutes récentes que les contraintes mécaniques peuvent y jouer un rôle. Nous pensons que dans les prochaines années ce changement de paradigme va transformer ce domaine. Mécaniciens et physiciens doivent jouer un rôle important dans ce processus, et le GDR s'emploiera à favoriser les rencontres entre mécaniciens, physiciens et biologistes du végétal. Nos contacts avec plusieurs laboratoires de l'INRA et la présence de l'un des membres fondateurs du GDR dans un laboratoire CNRS de biologie végétale seront déterminants.

Géophysique :

Bien que la géologie soit une science essentiellement naturaliste, il existe une petite communauté internationale qui s'attache à la compréhension des processus physiques sous-jacents aux structures géologiques. En France, en particulier, plusieurs groupes ont une activité expérimentale au laboratoire (IPGP, Géoscience Rennes, LGIT), avec le souci de la remise à l'échelle des expériences. Une jonction ponctuelle avec la physique s'est faite une première fois dans les années 1980, avec l'ambition de décrire nombre de phénomènes et paysages naturels par la géométrie fractale. Ces dernières années, un rapprochement plus profond s'est opéré entre différents groupes en physique et en géophysique, visant cette fois à comprendre les mécanismes physiques agissants à l'échelle élémentaire et à les intégrer dans une description valide aux échelles pertinentes pour la géologie. On peut citer quelques thèmes de recherche très actifs, tous ayant trait à des problèmes multi-échelles de mécanique : la physique du transport sédimentaire, la formation et l'évolution non-linéaire de rides et de dunes, la morphodynamique côtière, la physique des tremblements de terre et la dynamique des failles, la dynamo terrestre. L'un des objectifs du GDR sera de renforcer ce rapprochement entre géophysiciens, mécaniciens et physiciens, autour des thèmes du GDR

Concepts unificateurs

Le but du GDR est de mettre en œuvre des outils et des concepts fédérateurs qui sont pertinents dans ces différentes directions de recherche. C'est bien dans ces concepts et dans la démarche que se trouve l'unité de thématique du GDR. Ces outils qui proviennent de domaines de la Mécanique et de la Physique sont jusqu'à présent rarement utilisés conjointement.

Non-linéarités et instabilités

Les milieux complexes obéissent souvent à des lois constitutives non-linéaires (mousses, milieux granulaires, milieux vivants...) mais les non-linéarités peuvent aussi apparaître

du fait de la géométrie des grands déplacements (plaques coques...), ou de la présence d'interfaces (rupture, frottement et applications géophysiques). Ce comportement non-linéaire donne souvent lieu à des instabilités que l'on veut parfois éviter (flambage de structures élancées par exemple) ou contrôler (micro-fabrication en utilisant flambage ou délaminage). Elles jouent aussi un rôle important dans la morphogenèse en biologie du développement (forme ondulées des feuilles végétales...) et en géophysique (formation de dunes...)

Localisation des déformations, singularités et rupture

Certaines de ces instabilités conduisent à des singularités : singularités de courbure lors du froissement de plaques, localisation de déformation dans des mousses solides, bandes de cisaillement dans mousses liquides ou milieux granulaires). Dans d'autres systèmes, les singularités sont inhérentes à la nature du problème (rupture, tribologie). Mais dans tous les cas la description des milieux continus bute sur de nouvelles échelles ("micro") du problème, dont la physique se répercute alors à l'échelle globale du système.

Couplage d'échelles micro/macro, homogénéisation et moyennes thermodynamiques

La question difficile du couplage entre échelles différentes dans un système mécanique est double. D'une part, comme évoqué ci-dessus, la présence d'une singularité fait intervenir une micro-échelle dont on cherche à comprendre la physique et à déterminer l'influence macroscopique. D'autre part l'hétérogénéité des milieux introduit naturellement un continuum d'échelles pouvant faire intervenir des comportements physiques différents (matériaux composites, tissus vivants). Une question actuelle en mécanique consiste à comprendre le comportement global à partir d'une « moyenne » sur les échelles. Les techniques d'homogénéisation donnent accès à ces comportements moyens, mais des approches stochastiques sont nécessaires pour tenir compte des fluctuations. Par exemple l'amorce d'une fissure dépend plus de la statistique des défauts que d'un comportement moyen du matériau.

Physique statistique hors-d'équilibre

La généralisation de la physique statistique aux situations hors-d'équilibre constitue l'un des thèmes les plus importants de la physique de la matière condensée. De ce point de vue, l'étude des systèmes vitreux a conduit à introduire de nouveaux concepts comme celle de température effective ou d'hétérogénéités dynamiques. Pour autant, la communauté des verres n'aborde que maintenant les problèmes de comportement mécanique de ces systèmes hors-d'équilibre. Par ailleurs, ces problèmes de rhéologie ont été abordés de manière phénoménologique dans d'autres communautés (travaillant sur les mousses, les milieux granulaires, les suspensions ou les colloïdes). Il s'agirait donc au sein du GDR MéPhy de renforcer la jonction entre ces différentes communautés de manière à comprendre, à partir des mécanismes microscopiques, les lois de

comportements de ces matériaux. Parmi les points communs de ces matériaux : une transition (dite de « jamming ») à laquelle on peut associer un certain nombre de comportements critiques (e.g. perte de rigidité, divergence des longueurs de corrélation). La description de cette transition est l'un des objectifs de ce GDR.

IV. Laboratoires impliqués dans le GDR

Le GDR Mephy se structure autour des laboratoires de mécanique et physique listés ci-dessous qui forme un noyau dur mais souhaite rester une structure ouverte accueillant tout participant intéressé par les thématiques.

Liste des laboratoires au cœur du futur GDR :

- Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes (section 2, 5, 9, 10)
- Gulliver (section 2, 5, 11)
- Institut Jean Le Rond d'Alembert (sections 9, 10, 34)
- Lab. Physique de la Matière Condensée Nice (sections 5, 8)
- Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels (sections 9, 10)
- Institut des Nanosciences de Paris (4, 5, 6)
- Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre (5, 10, 19)
- Surface du Verre et Interfaces (5, 9, 11)
- Laboratoire Navier (9, 10)
- Fluides Automatique et Systèmes Thermiques (5, 9, 10, 18)
- Laboratoire Joliot-Curie (2, 5, 11, 21, 22, 23, 26)

V. Actions envisagées du GDR et méthode de travail

Le GDR souhaite continuer l'action du GDR 3166 selon le même mode opératoire qui a fait ses preuves entre 2008 et 2011, basé principalement sur des ateliers légers, en explorant des thèmes variés et en réunissant des participants qui, en pratique, ne sont pas toujours les mêmes selon les ateliers.

Ateliers thématiques :

Le GDR MéPhy organisera plusieurs ateliers thématiques par an selon deux modèles de fonctionnement

Ateliers spécialisés sur un sujet précis.

La formule consiste à discuter en profondeur d'un sujet précis autour d'un découpage thématique de la journée. Chaque participant intervient, non pas à un moment précis de la journée, mais à chaque fois qu'il dispose d'éléments ou de résultats pertinents dans la

progression de la discussion scientifique. Cette méthode de travail permet de remettre à jour les notions de base mais aussi de re-découvrir des résultats anciens avec un œil neuf. La confrontation des résultats et la discussion approfondie des conditions d'obtention des données, des hypothèses des modèles, etc, constituent toute la différence avec une suite d'exposés formatés. On parvient ainsi, lorsque l'architecture de base de la journée est bien conçue, à avoir une image claire des points bien compris et des questions ouvertes.

Ateliers exploratoires (trans-disciplinaires) – prospective.

Ces ateliers permettent de réunir (quelquefois pour la première fois) des communautés qui n'ont pas l'habitude de travailler ensemble, autour d'un sujet commun. Il s'agit alors de favoriser la prise de contact et les discussions grâce à des exposés pédagogique qui permettent de présenter le point de vue d'une communauté et les questions ouvertes. Ces ateliers permettent alors de discuter des liens entre des systèmes différents qui présentent des similarités (atelier sur les réseaux branchés), ou bien de présenter des problèmes qui font intervenir des connaissances nécessairement interdisciplinaires (rôle des contraintes mécanique dans la morphogénèse végétale par exemple).

Colloques et conférences :

En plus des ateliers thématiques, le GDR soutiendra et organisera des colloques

Réunion générale

Deux réunions générales rassemblant l'ensemble des thématiques du GDR seront organisées sur 2-3 jours, permettant à la communauté dans son ensemble de se retrouver.

2014 : une conférence internationale "New Trends in Soft Matter"

Nous envisageons l'organisons d'une conférence internationale portant sur les thématiques du GDR. Cette conférence pourrait être soutenue par l'ESPCI qui bénéficie d'une chaire Total.

Ecole d'été

Le GDR MéPhy entend remplir une mission de formation des jeunes chercheurs mais aussi d'accompagnement des reconversions thématiques. Nous avons prévu d'organiser une Ecole d'Eté d'une semaine à 10 jours, à mi-parcours, sur l'un des sites du CNRS. Le centre de formation continue du CNRS sera sollicité à cette occasion. Il est important de rappeler que le comité d'organisation du GDR MéPhy s'est constitué lors de l'organisation de l'école de Mécanique-Physique qui a eu lieu à Porquerolles en Septembre 2006 et qui a réuni plus de 60 personnes d'horizons variés.

Diffusion des informations et annonces

Le GDR MéPhy a mis en place un système de liste de diffusion, avec archivage sur la page Web du GDR, permettant la circulation des informations, des questions scientifiques et des annonces (thèses, post-doctorat, colloques, etc...). A l'heure actuelle, 220 chercheurs sont inscrits pour recevoir les messages envoyés sur cette liste.

Le GDR MéPhy a également mis en place un site web collaboratif (wiki) (<http://www.pmmh.espci.fr/~mephy>) permettant, outre ces informations factuelles, de mettre en ligne les manuscrits des thèses et des habilitations à diriger des recherches soutenues dans le domaine. En outre, une communication (informations importantes, faits marquants, etc) vers les départements du CNRS concernés par les thématiques du GDR sera désormais assurée.

Pépinière de projets fédératifs

Le GDR a aussi pour vocation d'encourager et favoriser la mise en place de projets impliquant plusieurs laboratoires. Au cours des ateliers thématiques, des plages de temps seront réservées au travail sur des projets commun (ébauche de projets type ANR, européen ou industriels). Le GDR pourra subventionner des missions entre les équipes impliquées dans la préparation de tels projets.

Partenaires industriels

Même si pour l'instant nous n'avons pas de partenaires attirés, le GDR est ouvert à la participation d'industriels et grands organismes dont des préoccupations fortes de recherche et développement ressortent du domaine de la Mécanique Physique. En particulier, Total, Lafarge, Eurobéton, Nestlé, et Saint Gobain ont exprimé leur intérêt pour le GDR.

Vulgarisation

Exposition « Casser ; Couler » (titre provisoire)

Etienne Guyon (PMMH) a mis en place un projet d'exposition interactive autour de la thématique des comportements non linéaires en mécanique. Celui-ci inclut des études sur la rupture fragile et ductile, sur la tribologie, sur les non-linéarités géométriques dans les objets élancés (plissements). Cette exposition est particulièrement concernée par la nécessité d'une description mettant en jeu la multiplicité d'échelles dans la relation physique- mécanique. Pour cette raison, les porteurs du projet souhaitent s'appuyer sur la communauté des chercheurs représentés dans le GDR Méphy.

Cette exposition tournée vers les jeunes vise à trois types de traitements : expériences en libre-service, ateliers et séances d'exposés (du type Palais de la Découverte) suivant la complexité et la possibilité de reproduction des expériences. Sa version itinérante nécessitera une surface de 100 à 250 m² suivant les versions. La réalisation technique de l'exposition est coordonnée par Michel Darce (Centre•Sciences Orléans) avec le CCST de Rennes et un partenariat avec le Palais de la Découverte.

Pour mémoire, une exposition a été montée dans un même esprit sur les milieux granulaires (« Jeux de grains » en 2003). Elle s'appuyait largement sur les chercheurs du GDR MiDi. Cette exposition qui a circulé dans une dizaine de centres en France connaît un large succès international, en particulier dans les pays du Sud avec le soutien du MAE (plusieurs exemplaires de cette exposition circulent).

VI. Gouvernance

Le GDR MePhy sera une structure très souple et très informelle où les décisions seront prises de façon collégiale, avec un noyau dur dont les membres se rencontrent régulièrement. Certains membres ont une « spécialité » thématique, mais nous viserons à maintenir un fonctionnement de groupe pour maintenir un cap commun. La composition du comité d'organisation regroupe des personnalités reconnues appartenant aux deux instituts et aux sections auxquelles le rattachement est demandé.

L'organisation d'ateliers d'une seule journée est délibérément simple : le GDR remboursera les missions des participants qui se déplacent (le choix de Paris permettra en général de minimiser les déplacements), et fournira le repas de midi sous la forme d'un buffet sur place, ce qui favorisera les discussions et évitera de perdre du temps.

Nous revendiquons ce mode de fonctionnement car c'est son extrême souplesse qui nous permettra de « tester » des sujets (pour en évaluer le public intéressé), en faire émerger des thématiques plus pérennes (comme la rhéologie des suspensions denses) ou de la prospective pour des thématiques en évolution et qui doivent être développées (mécanique de la morphogénèse).

Enfin nous notons que cette formule souple et peu hiérarchique nous permettra d'être naturellement à l'écoute des besoins ou de suggestions. Par exemple, dans le GDR 3166 sur le travail duquel nous nous appuyons, la série des rencontres GISEC était née de la suggestion d'une des participantes (E.Lemaire) qui a ensuite co-organisé la première édition à Nice avec le GDR 3166, une équipe de Bordeaux prenant le relais en 2011.

Nous pensons que sous cette forme, le GDR est une structure très réactive, qui peut suivre une thématique ou faire émerger de nouvelles problématiques, et ainsi contribuer à une structuration adaptative des activités de recherche.

VII. Budget demandé pour 2013-18

Projections pour les 4 prochaines années :

Le GDR souhaite organiser de 3 à 4 ateliers par ans, en visant un nombre moyen de 35 personnes. Nous projetons également d'organiser une école d'été en 2015, mais en mettant l'accent sur la formation des doctorants et jeunes chercheurs. On sait en effet l'importance qu'une telle manifestation peut avoir pour la formation d'une communauté scientifique. C'est en créant des liens entre les futurs acteurs de la science que l'on obtient en effet le meilleur dialogue entre les disciplines. Pour financer cette Ecole, nous ferons également appel à des sources externes (CEA, Fédération des systèmes complexes, Université de Provence, formation permanente CNRS, Université Paris Diderot, fondation Pierre-Gilles de Gennes, Institut des Systèmes Complexes...) qui ont contribué aux manifestations du GDR 3166 ; la création d'un GDR permettrait d'amorcer le processus. Par ailleurs, de grandes entreprises (Total, Lafarge, Eurobéton, Nestlé, Saint Gobain) ont exprimé leur intérêt pour le GDR.

Demande de budget pour les 4 prochaines années :

Le budget du GDR est très raisonnable : il permet d'organiser entre 3 et 4 journées d'atelier par an, en remboursant les frais de transport (train seulement), et en fournissant le repas sur place (budget 3K€ par réunion). Il serait également souhaitable de pouvoir rembourser des nuitées, ce qui serait utile pour les intervenants qui viennent de vraiment loin et qui doivent alors se lever très tôt : Nice, Toulouse...

L'organisation d'une école d'été ne pourra être réalisée sur le budget annuel du GDR (sauf à sacrifier les ateliers). Il est important en effet de maintenir des coûts très faibles pour les jeunes participants. A titre d'exemple l'hébergement (nourriture comprise) pendant une semaine d'école d'été représente 17k€ euros pour 50 personnes en centre IGESA.

Nous demandons un budget pour cette manifestation de 15k€ euros, qui sera complété par d'autres sources de financement (cf. ci-dessus).

Au total, pour 4 années, nous souhaitons un financement de **63k€ euros**, soit 12k€ par an pour nos ateliers, et une somme de 15k€ versée sur une année particulière (2014 ou 2015).

