

Modélisation des ondes de gravité et des processus associés

David Lannes (ENS Paris), Philippe Bonneton (UMR EPOC, Bordeaux)

lundi 30 septembre 2013

Lieu : Université de Bordeaux 1

Programme

Exposés scientifiques :

- Eric Barthélémy (LEGI, Grenoble) : **Dynamique des vagues en milieu littoral**
- Emmanuel Migniot (LMFA, Lyon) : **Hydraulique fluviale et urbaine**
- Sergey Gravilyuk (IUSTI, Marseille) : **Un modèle mathématique de ressaut hydraulique turbulent**
- Jean-Paul Vila (INSA Toulouse) : **Modélisation asymptotique des écoulements en hydraulique à surface libre**
- Pascale Bouruet-Aubertot (LOCEAN, Paris) : **Ondes internes océaniques**

Table ronde :

- Liste des participants et des structures représentées :
 - ▶ Stéphane Abadie (SIAME, Anglet) : GIS HED2 (Groupement d'Intérêt Scientifique Hydraulique pour l'Environnement et le Développement Durable) et projet TANDEM
 - ▶ Eric Barthélémy (LEGI, Grenoble) : ANR QQQ, projet LEFE-MANU Soli
 - ▶ Michel Benoît (Laboratoire StRVenant, Chatou) : ANR Systèmes Numériques Monacorev, projet investissement d'avenir Tandem.
 - ▶ Sylvie Benzoni (Lyon), ANR BLANC Bond, MPE 2013
 - ▶ François Bouchut (QQQ, Marne-la-vallée) : ANR BLANC Landquakes, GDR EGRIN, GDR Transnat
 - ▶ Pascale BouruetRAubertot (LOCEAN, Paris) : ANR Epigram
 - ▶ Mathieu Colin (IPB, Bordeaux) : INRIA Bordeaux et projet Tandem.
 - ▶ Sergei Gavriluk (IUSTI, Marseille) : ANR BLANC Bond
 - ▶ David Lannes (DMA, ENS Paris) : ANR BLANC MathOcean, ANR BLANC Bond, ANR BLANC Dyficolti, projet LEFE-MANU Soli.
 - ▶ Vincent Marieu (IR UMR EPOC, Bordeaux)
 - ▶ Emmanuel Mignot (MCF INSA-LMFA, Lyon) : GIS hydrodynamique et environnement durable
 - ▶ Pascal Noble (INSA Toulouse) : GDR films cisailés
 - ▶ Vincent Rey (MI0, Toulon) : ANR ASTRID QQQ
 - ▶ Germain Rousseau (Laboratoire P', Poitiers) : groupe de travail local Phybromath
 - ▶ Jean-Claude Saut (Université d'Orsay)
 - ▶ Chantal Staquet (QQQ) : ANR BLANC QQQ (physique/mécanique des fluides/océanographie, ondes internes) ; GDR Turbulence ; groupe de travail (ondes internes) soutenu par le programme LEFE de l'INSU
 - ▶ Jean-Paul Vila (INSA Toulouse) : GDR films minces (mathématique/physique) ; collaboration avec SHOM (ondes internes).
- Brève description des structures représentées (en cours ou récentes) :
 - ▶ ANR ASTRID QQQ (mécanique/mathématique/numérique) : impact des courants
 - ▶ ANR BLANC Bond (mathématique/physique/océanographie) : chocs dispersifs

- ▶ ANR BLANC DYFICOLTY (mathématique/physique) : approche mathématique de problèmes en mécanique des fluides
- ▶ ANR BLANC Landquakes (mathématique/géophysique) : écoulement granulaire et rhéologie
- ▶ ANR BLANC INTERDISCIPLINAIRE MathOcean (mathématique/océanographie) : étude mathématique des océans
- ▶ ANR Epigram (physique/océanographie) : ondes internes dans le golfe de Gascogne
- ▶ ANR Systèmes Numériques Monacorev (physique/mathématique) : production d'énergie à partir des vagues
- ▶ GDR EGRIN (mathématiques) : écoulements gravitaires
- ▶ GDR Films minces
- ▶ GDR Transnat (physique)
- ▶ GDR Turbulence
- ▶ GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique) hydrodynamique et environnement durable : regroupe différentes corps d'Etat et des scientifiques sur des problématiques d'hydraulique fluviale, côtière et urbaine.
- ▶ LEFE-MANU Soli (mathématique/physique/océanographie)
- ▶ MPE 2013 (Mathematics for Planet Earth 2013)
- ▶ Projet investissement d'avenir CEARINRIA Tandem (physique/mathématique) : évaluation des risques de tsunamis pour les centrales nucléaires)
- ▶ Phybromath (physique/mathématique) : groupe de travail local soutenu par une ACI de l'Université de Poitiers

Compte rendu de la table ronde

Par souci de clarté, les nombreuses thématiques représentées ont été regroupées en trois grands familles : écoulements côtiers, ondes internes océaniques, et hydrodynamique fluviale. Nous avons évoqué les principaux enjeux environnementaux, les verrous mathématiques qui se posent pour les résoudre et l'impact éventuel des calculs haute performance sur ces thématiques. Nous avons enfin discuté des rapports des mathématiques avec les différentes disciplines concernées et tenté d'identifier certains besoins ressentis par la communauté pour faciliter le travail interdisciplinaire.

Enjeux environnementaux

- Écoulements côtiers : les vagues et la marée sont les deux principaux forçages qui vont contrôler les processus hydrodynamiques et sédimentaires en milieu littoral. La compréhension de leur dynamique est essentielle pour prévenir les risques liés aux problèmes de submersion lors des tempêtes ou lors de tsunamis. C'est aussi un enjeu important pour les problèmes d'érosion des littoraux, en particulier dans le cadre du changement climatique.
- Ondes internes : les ondes internes jouent un rôle extrêmement important pour tout ce qui a trait à la turbulence et aux mécanismes de mélange et de transfert d'énergie au sein des océans. Les conséquences sont nombreuses. À petite échelle, c'est un élément fondamental de l'équilibre des écosystèmes marins ; à plus grande échelle, elles participent à la dynamique planétaire des océans et leur compréhension est un aspect essentiel pour la description des mécanismes climatiques.
- Hydrodynamique fluviale : l'hydrodynamique fluviale rencontre les trois thématiques Terre Fluide, Terre Vivante, Terre Humaine. La compréhension des ondes de surface est nécessaire à l'étude des problèmes liés aux barrages (gestion des ouvertures de vannes, rupture), de navigation fluviale (batillage), des mascarets et du vortex shedding (et donc de leurs impacts sur les écosystèmes fluviaux), du transport sédimentaire, de la conception des ouvrages fluviaux, etc. La problématique de l'hydrodynamique

fluviale est par ailleurs indissociable de l'hydrodynamique urbaine (gestion des réseaux de drainage en cas de crue par exemple).

Verrous mathématiques

Nous présentons ici les principaux verrous rencontrés dans les trois thématiques abordées. Certains d'entre eux sont communs aux trois thématiques : modélisation du transport de sédiments, modélisation des phénomènes turbulents et paramétrisations sous-maillages, gestion des forts gradients (pour la topographie ou la solution).

- Écoulements côtiers. Il existe deux grandes familles de modèles d'écoulements côtiers : les modèles « vague à vague », et les modèles « à phase moyennée » pour lesquels les vagues ne sont pas individuellement représentées mais où l'on décrit les caractéristiques moyennes des vagues.
 - ▶ Pour les modèles « vague par vague », malgré de grands progrès, plusieurs difficultés conceptuelles importantes demeurent ; on peut les regrouper en trois catégories :
 - a. Prise en compte des bords : pour les modèles utilisés en océanographie (de type Green-Naghdi), la compréhension mathématique et numérique des conditions aux bords (problème mixte) est extrêmement limitée à cause de la présence des termes dispersifs. C'est pourtant là un aspect essentiel pour des couplages avec des modèles « eau profonde » qui décrivent la houle arrivant en zone côtière. Plus délicate encore est la compréhension du bord « physique » que représente le rivage (annulation de la hauteur d'eau).
 - b. Modélisation du déferlement. Actuellement, le déferlement est décrit comme un choc pour les équations de Saint-Venant. Ce n'est pas complètement satisfaisant. Il faudrait en effet être capable de traiter le déferlement pour des modèles plus complets de type Green-Naghdi, et également d'estimer par modélisation la taille des rouleaux des vagues déferlées. Cette bonne compréhension du déferlement est essentielle car c'est la dissipation d'énergie associée à ce phénomène qui contrôle la circulation et les courants littoraux. Cette problématique rejoint celles bien plus générales de l'étude des interactions ondes/vorticité, que la vorticité soit 3D et de petite échelle (turbulence 3D) ou qu'elle corresponde à des circulations quasi-2D de plus grandes échelles.
 - c. Compréhension de la couche limite de fond sous l'action des vagues et transport de sédiment. Ces points sont essentiels pour comprendre la morphodynamique des plages sableuses par exemple. La compréhension de la couche limite de fond est encore assez rudimentaire et d'importants progrès sont nécessaires pour mieux comprendre la mise en suspension des sédiments. Le transport sédimentaire est quant à lui une problématique à part entière que l'on rencontre aussi en hydrodynamique fluviale par exemple. Des progrès sur la rhéologie des milieux granulaires denses sont indispensables : modélisation diphasique, approche cinétique sont des pistes possibles.
 - ▶ Les modèles à phase moyennée sont très importants pour les applications côtières à moyennes et grandes échelles, en particulier pour simuler l'évolution morphodynamique des littoraux. Si les approches 2D horizontales (intégrées sur la verticale) sont maintenant bien maîtrisées en revanche le développement de modèles houle/courant entièrement 3D est en plein développement tant du point de vue théorique, numérique qu'expérimental (pour la validation des modèles).
- Ondes internes. Parmi les difficultés rencontrées pour lesquelles les mathématiques seraient susceptibles d'apporter des améliorations significatives, citons :
 - ▶ « Raideur » des configurations. Les ondes internes sont fréquemment émises par la marée dans des zones où la topographie est très raide. Aucune solution satisfaisante n'existe malheureusement à ce

jour pour gérer ce genre de configuration. De plus, la plupart des modèles utilisés doivent être améliorés pour prendre en compte de grandes amplitudes, des effets non hydrostatiques, etc.

- ▶ Processus de mélanges turbulents. Le déferlement des ondes internes entraîne une dissipation d'énergie et un mécanisme de mélange essentiels à la dynamique interne des océans (remontées des eaux par exemple). Ces mécanismes sont très mal compris et une paramétrisation satisfaisante manque encore.
 - ▶ Forçage par le vent. La manière dont le vent crée des ondes internes est un sujet de recherche actif sur lesquels de nombreux problèmes mathématiques subsistent (couplage avec l'atmosphère par exemple).
 - ▶ Rareté des données. Peu de données existent sur les ondes internes, par exemple sur la nature de la topographie. Des méthodes doivent être envisagées pour pallier cette rareté des données. Une approche statistique est parfois utilisée.
- Hydrodynamique fluviale. On retrouve bien sûr plusieurs des problématiques rencontrées dans les deux autres thématiques (transport de sédiment, décollements de couches limites turbulentes, raideur des configurations, etc.). Parmi les difficultés mathématiques spécifiques à cette thématique, on rencontre notamment :
- ▶ Problème de confinement latéral. Cela joue un rôle important pour la navigation fluviale ; le confinement latéral s'ajoute à la faible profondeur pour créer des écoulements complexes qui peuvent être des entraves à la navigation. Le confinement est aussi à l'origine du phénomène de vortex shedding qui peut créer des structures turbulentes susceptibles de rentrer en résonance avec des « bras morts » de l'écoulement (ports fluviaux par exemple). La connaissance mathématique de ces phénomènes est très faible.
 - ▶ Couplages de modèles. La grande variété de configurations devant être traitées nécessite de coupler plusieurs types de modèles physiques (1D pour le fleuve et 2D pour la propagation des crues en plaine par exemple) ou numériques (résolution plus ou moins fine de la turbulence).
 - ▶ Importance de la rugosité. Une trop grande précision sur la topographie est-elle en effet pertinente quand on utilise un modèle de type Saint-Venant ? Une telle précision est « hors domaine de validité » du modèle, et elle entraîne aussi une modification du coefficient de friction.

L'impact de la HPC

On constate un assez faible impact de la HPC sur les thématiques abordées, même si elle a évidemment une influence sur le type de modèles développés. Il est aujourd'hui assez facile d'obtenir des « heures HPC » mais certains codes sont anciens et nécessiteraient d'être ré-écrits.

Les rapports avec les mathématiques et les besoins ressentis

Les interactions ne sont clairement pas assez développées. Deux raisons essentielles à cela :

- les océanographes ont plutôt tendance à se tourner vers des physiciens théoriciens que vers des mathématiciens pour résoudre leurs problèmes mathématiques. Et au niveau numérique, ce sont souvent des physiciens formés en numérique qui se chargent du développement des codes.
- Les mathématiciens ont du mal à rentrer dans le langage des physiciens. Ils sont, de plus, assez souvent découragés par la difficulté d'accéder aux données qui leur permettraient de tester leur approche mathématique.

Ces deux obstacles ne sont pas dus à un manque de bonne volonté, mais davantage à une solution de facilité pour les deux communautés qui ne prennent pas assez souvent la peine de faire l'investissement de comprendre un langage différent du sien.

On constate que le meilleur moyen de briser la glace est de commencer à petite échelle (groupe de travail local par exemple) avant de passer à des projets de plus grande amplitude. Des structures comme les GDR, les projets LEFE de l'INSU, et les ANR BLANC jouent également un rôle très favorable. Nous avons identifié une série de mesures qui favoriseraient à notre avis des collaborations interdisciplinaires :

- Aide à la mise en place de projets interdisciplinaires locaux : soutien à des groupes de travail interdisciplinaires et « mini-projets » ANR interdisciplinaires entre deux petits groupes de chercheurs. Sur ce dernier point, il est important que cela ne porte pas préjudice au porteur éventuel du projet : il doit pouvoir être porteur d'un gros projet ANR simultanément.
- Financement de bourses de thèse et de M2 interdisciplinaires : l'expérience prouve que le co-encadrement est l'un des meilleurs moyens de construire des collaborations durables. Il faudrait également combattre la frilosité souvent observée lors des recrutements quand un candidat interdisciplinaire se présente – ou même lorsqu'il soutient sa thèse car les jurys vraiment interdisciplinaires ont souvent mauvaise presse.
- Le programme BLANC de l'ANR doit continuer. Il faudrait également un quota de projets interdisciplinaires évalué par un comité en maths et un comité dans la discipline physique compétente (un jury de maths n'étant pas en mesure d'évaluer correctement la partie physique et vice versa).
- Soutien à la formalisation de « défis scientifiques ». Il faudrait confier à des groupes interdisciplinaires la formulation de problèmes de grande importance pour les applications. Cela se traduirait par l'identification de benchmarks et de critères d'évaluation précis, la mise à disposition des données nécessaires, et la formulation de problèmes reliés (physique, numérique et mathématique). Un tel cadre manque souvent au sein même des communautés travaillant en océanographie et hydraulique fluviale et leur serait d'une grande utilité ; il permettrait également aux mathématiciens qui ne souhaitent pas faire l'effort de rentrer dans le langage des physiciens et ont donc des difficultés à identifier des problématiques pertinentes de disposer d'une formulation mathématique d'un problème physique important. Ils seraient donc bien plus susceptibles d'apporter leur expertise. Il est à noter que de telles initiatives commencent à voir le jour au niveau international, par exemple sur les tsunamis.