

Projet de création d'un groupement de recherche : **Transport Solide Naturel (TSN)**

I Thématique

Nous entendons ici par transport solide naturel, d'une part les phénomènes naturels gravitaires (avalanches, mouvements de terrain, écoulements de débris ...) se produisant dans des contextes variées (comme le cas des coulées glaciaire à la surface de Mars ou des écoulements pyroclastiques à haute température...), et d'autre part les phénomènes de transport solide en présence d'un fluide porteur (transport des sédiments en rivières ou en milieu littoral, transport éolien de particules ...). Dans le premier cas, la gravité est le moteur du mouvement tandis que dans le second c'est le fluide porteur qui joue un rôle prépondérant.

Sur cette problématique centrée sur les écoulements naturels, la collaboration entre physiciens de la matière divisée et chercheurs des sciences de la Terre nous semble essentielle pour couvrir l'ensemble des échelles spatiales (du grain au système géophysique) et temporelles (de l'envol d'un grain aux échelles de temps géologiques).

La communauté des physiciens de la matière divisée, fédérée au sein du GDR « Milieux Divisés » (qui est arrivé à échéance au printemps 2007), a été, ces dernières années, particulièrement active sur l'étude et la modélisation des écoulements granulaires secs, et ses travaux ont permis d'aboutir à une vision relativement claire et cohérente de ces écoulements pris dans des configurations canoniques simples (régime stationnaire et uniforme avec des grains sphériques et monodisperses). Cette communauté de physiciens est arrivée à un stade où il paraît maintenant envisageable qu'elle s'attaque à des situations intégrant la complexité des écoulements naturels (instationnarité, polydispersité des grains ...etc). Pour cela, il est nécessaire qu'elle s'allie à la communauté des sciences de la terre qui possèdent non seulement l'expertise de terrain, mais aussi la connaissance des différents éléments pertinents responsable de la complexité des systèmes naturels, et la compétence pour simuler en laboratoire, par des dimensionnements astucieux, les grandes échelles spatiales et temporelles.

II Approche générale

L'esprit de notre projet de Groupement de Recherche est de proposer non seulement un sujet d'étude qui rassemble différentes communautés, mais aussi également une voie d'approche particulière. En effet, les écoulements naturels sont complexes et hétérogènes, et on peut être tenté de les décrire par des descriptions macroscopiques « aveugles », c'est-à-dire sans souci de prendre en compte la structure du milieu. Notre propos est d'insister sur la compréhension de l'émergence du comportement global et

d'analyser les paramètres descriptifs macroscopiques utilisés en relation avec la structure à toutes les échelles. De même, dans cette démarche, nous essaierons de développer des analyses de portée aussi générale que possible, en encourageant les analogies entre différents problèmes (par exemple entre le transport sédimentaire fluvial et le transport éolien).

Les différents laboratoires intervenant dans ce projet (au nombre d'une vingtaine) appartiennent à des horizons différents (physiciens, géophysiciens, mécaniciens, génie civil). On pourra en juger par les différentes sections de rattachement des intervenants (5, 9, 10, 18, 19, 20). Cette large ouverture est nécessaire pour rassembler les compétences les plus variées sur un thème donné. Nous tenons cependant à garder la possibilité d'associer de nouvelles équipes au groupement en fonction des besoins qui pourraient apparaître dans le futur, et d'inviter ponctuellement les partenaires étrangers (européens ou américains) qui collaborent avec les équipes françaises.

L'une des missions de ce GDR est d'organiser une communication très performante entre ses différents intervenants. Outre des rencontres de l'ensemble du groupement sur un rythme probablement annuel, nous pensons organiser plusieurs (2 ou 3) mini ateliers de travail par an sur des thèmes ciblés. Le lieu de ces ateliers serait choisi en fonction des thèmes abordés de façon à pouvoir visiter, discuter ou effectuer des mesures sur des sites naturels ou sur des ensembles expérimentaux de laboratoire.

III Programme scientifique

Après avoir défini la thématique et la démarche que nous comptons promouvoir dans ce groupement, nous allons préciser plus concrètement les différents thèmes que nous souhaitons voir aborder.

III-1 Ecoulements naturels gravitaires

Il s'agit ici de processus naturels impliquant un transport de matière solide à la surface de la terre (ou d'autres planètes comme Mars) où le moteur du mouvement est la gravité.

Nous pensons en premier lieu aux *écoulements gravitaires secs* impliquant des matériaux consolidés (de type roche), tels les glissements et avalanches de roches. Le matériau en écoulement peut être vu alors comme une assemblée de particules de forme et de taille diverses interagissant essentiellement par frottement et contact. Bien que ces interactions soient locales, le comportement global n'en reste pas moins complexe. En effet, si le milieu est entraîné à grande vitesse, alors un traitement quasi-hydrodynamique devient possible, mais dès que la vitesse devient faible (milieu dense), alors le rôle des amas de particules au contact devient prépondérant, et il devient impossible d'ignorer la structure locale. Par ailleurs, ce type d'écoulements naturels, bien que simples dans leurs constituants, possèdent en outre des caractéristiques spécifiques, qui les rendent difficile à appréhender. Par exemple, les avalanches de roches peuvent atteindre des vitesses très grandes (parfois plus de 200 km/h), ce qui entraîne inévitablement une fragmentation du matériau au cours d'écoulement, que l'on ne peut alors ignorer.

Nous souhaitons également nous intéresser *aux écoulements gravitaires de matière granulaire humide et saturé en eau*, dont moult exemples sont donnés par la nature : glissement des sols, écoulements de boue, avalanches de débris (constitués de blocs rocheux dans une matrice boueuse) ... Ces écoulements font apparaître un degré de complexité supplémentaire: la présence d'une deuxième phase, l'eau, qui modifie les interactions entre les grains et donc les modes de dissipation de l'énergie. En milieu humide non saturé, les constituants du matériau granulaire deviennent cohésifs, tandis qu'en milieu saturé, les interactions hydrodynamiques entre la phase liquide et la phase solide dispersé deviennent prépondérantes, et doivent être prises en compte. Prédire le comportement de tels écoulements de manière quantitative constitue un défi pour la communauté scientifique.

Parmi ces processus de transport de matière solide par gravité, on peut distinguer *les avalanches et glissements de terrain* (qui sont des phénomènes généralement brefs et spontanés) *des écoulements proprement dits* qui possèdent un caractère plus ou moins stationnaire (écoulements de débris, coulées glacières ou laves torrentielles).

En ce qui concerne *les avalanches*, la communauté scientifique doit progresser dans la compréhension des mécanismes locaux conduisant aux phénomènes de rupture et d'instabilités des pentes, dont les éléments déclencheurs externes sont en général les précipitations, les séismes... Il faudra aller au-delà de l'étude modèle (pourtant chère au physicien) d'un milieu simplifié constitué de grains sphériques, monotailles, non cohésifs, et incorporer progressivement les éléments de la complexité des systèmes naturels (distribution de taille des particules, défaut de sphéricité, degré de cohésion, présence d'un fluide ...). Au-delà du phénomène de déclenchement, la question de la mobilité et de la portée des avalanches est une problématique également importante, qui doit être abordée. Par exemple, se pose encore la question de l'identification des mécanismes physiques qui font que les avalanches de roches (ou de débris) de grande taille ont en général des portées beaucoup plus grande que celles prédites par les modèles basés sur le frottement solide. De même, les processus d'arrêt et de déposition, qui peuvent s'apparenter à des phénomènes de « jamming », sont encore très mal compris.

Pendant la phase d'écoulement, se déroulent de nombreux processus difficiles à modéliser, telles la ségrégation, la fragmentation. De plus, des couplages complexes peuvent apparaître (couplage hydrodynamique pour les écoulements en milieux saturés, couplage thermo-mécanique dans les écoulements pyroclastiques).

Les difficultés rencontrées pour étudier ces écoulements naturels sont nombreuses, et il faudra trouver des moyens de les contourner. D'une part, les observations et de mesures en temps réels sont difficiles et rares. D'autre part, les expériences en laboratoire nécessitent une remise à l'échelle, qui nous oblige à occulter certains processus physiques présents aux grandes échelles spatiales et temporelles.

III-2 Transport solide en présence d'un fluide porteur

La présence d'un fluide porteur change, d'une part, la nature des interactions entre particules (comme nous l'avons déjà vu pour les écoulements gravitaires en milieu saturé), et modifie, d'autre part, le mode de sollicitation du milieu. Ici, les écoulements de matière solide ne sont pas induits directement par la gravité mais par le cisaillement exercé par un fluide (il s'agit de l'air dans le cas du transport éolien de sable, ou de l'eau pour le transport dans les rivières, en milieu littoral ...). Dans ces écoulements, on observe généralement l'existence d'une couche de grains en saltation formant une suspension plus ou moins dense et dont l'interaction avec le fluide est prépondérante.

Parmi ces processus naturels impliquant un fluide porteur, nous distinguons deux types de transport, le transport dans l'air (transport éolien) et le transport dans l'eau, en rivières ou en milieu littoral.

S'agissant du transport éolien, un certain nombre de travaux récents ont permis de mieux comprendre les différents modes de transport (tel le processus de saltation) et le couplage entre l'écoulement d'air et le nuage de grains en saltation. Ces aspects sont maintenant relativement bien décrits par des modèles numériques discrets. Cependant les situations étudiées restent élémentaires (régime établi et stationnaire, grains sphériques et de même taille) au regard du transport éolien naturel. Nous devons donc prendre en compte les divers degrés de complexité des systèmes naturels (distribution de la taille des particules, instationnarité et grandes fluctuations des régimes éoliens ...) et analyser leur impact sur les lois de transport. Un autre aspect très important, qui sous-tend toutes les modélisations, est la description des échanges à l'interface entre le lit statique et la couche de grains en mouvement. A l'heure actuelle, seules les situations d'équilibre, (c'est-à-dire les cas où l'érosion et l'accrétion s'équilibrent exactement), ou faiblement hors équilibre, sont bien décrites. Dans les situations naturelles de transport (comme dans le cas de la formation des dunes), on est le plus souvent dans des régimes très loin de l'équilibre. Nous devons donc progresser dans la modélisation et la compréhension des lois locales d'érosion et de déposition dans de telles situations.

Comparé au transport éolien, le transport fluvial est le principal mode de transfert de matière sur de longues distances à la surface des continents. Ce sont « naturellement » les mécanismes de transport de sédiments qui, en réponse aux conditions limites du système (distribution des crues, flux et nature du sédiment entrant), contrôlent l'évolution du lit des rivières. Les travaux actuels sur cette problématique se heurtent à notre méconnaissance de la dynamique du transport de fond (par saltation et roulement/reptation) et des lois de transport associées, pratiquement toutes définies de manière empirique. La tâche est rendue compliquée par la difficulté d'acquérir des données de qualité dans des environnements bien souvent hostiles à toute instrumentation. D'autre part, on peut se poser la question de la représentativité de mesures effectuées sur des échelles de temps courtes par rapport au temps de retour des très grandes crues. L'approche expérimentale en chenal domine donc les travaux sur les lois de transport et s'est concentrée sur des problèmes tels que la détermination du seuil de mise en mouvement des particules, la définition des flux de matière en fonction de la contrainte cisailante basale. Des modèles numériques permettant le passage de l'échelle du grain à celle de plusieurs grains en écoulement commencent à apparaître mais leur

complexité (au niveau hydrodynamique et interactions des grains) limite pour l'instant leur applicabilité à des systèmes naturels plus complexes. Sur ces questions, la collaboration entre physiciens de la matière divisée et géomorphologues nous semble essentielle pour couvrir l'ensemble des échelles spatiales et temporelles pertinentes. Certains facteurs jusqu'alors peu ou pas étudiés devront être analysés:

- le rôle de la très grande variabilité des débits sur l'organisation de la couche alluviale statique.
- l'impact de la forte rugosité du lit des rivières de montagne résultant de la morphologie du lit rocheux sur la dynamique et ses conséquences sur l'incision des rivières à long terme.

On pourra également élargir ponctuellement notre champ d'investigation au cas du transport des sédiments en milieu littoral, puisque les problématiques sont très proches de celles du transport éolien et fluvial. Toutefois, nous ne souhaitons pas en faire une thématique centrale car la communauté scientifique travaillant sur cette thématique est très importante et déjà bien structurée. En milieu littoral, les sédiments sont transportés par l'action complémentaire de la houle et des courants. Ces transports sédimentaires sont responsables de l'évolution de la morphologie des côtes sableuses. Comme dans le cas éolien et fluvial, les recherches actuelles se heurtent à la méconnaissance des lois de transport.

Enfin, une autre problématique importante, commune au transport éolien, fluvial et littoral, devra être abordée, c'est celle de la formation et la dynamique des dunes sur les lits et fonds sableux. Ces structures sableuses étant extrêmement mobiles, elles peuvent présenter des risques pour la navigation en rivières. Pour décrire leur évolution, il est nécessaire de prendre en compte le couplage qui existe entre la topographie du sol, l'écoulement fluide et le transport solide. Les difficultés auxquelles sont confrontées les développements actuels proviennent surtout de la très forte non linéarité des couplages mis en jeu.

III-3 Instrumentations et site d'observations

A notre avis l'une des clés du succès pour améliorer la compréhension de ces phénomènes de transport solide naturel est le couplage entre les études de modélisation expérimentale et théorique, d'une part, et les études sur le terrain d'autre part, d'autant que les données fiables de terrain et quantitatives sont encore peu nombreuses. Enfin, il nous paraît essentiel d'aborder le problème de l'instrumentation de laboratoire mais aussi surtout de terrain. Il s'agira d'une part de développer des mesures non intrusives (vélocimétrie par imagerie, méthodes optiques ou acoustiques pour sonder la structure granulaire), et d'autre part de diffuser au sein de ce groupement les méthodes d'instrumentations existantes et d'en cerner correctement leur limite.

En parallèle, il sera utile de faire le point sur les différents sites d'observations et d'étude de manière à cerner la particularité de ceux-ci ou de mettre en exergue leur caractère général. Nous espérons ainsi garder un lien fort avec les sciences de la Terre dans la définition des objets à étudier.

IV Missions du Groupement

Le GDR veut donner une priorité à la communication. Sa vocation n'est pas de se substituer aux laboratoires d'accueil des chercheurs, mais plutôt d'accompagner des efforts de recherche en suscitant des collaborations, en permettant des échanges d'informations et des transferts de compétence d'un champ à un autre et en partageant les acquis récents. D'où le rôle essentiel de la communication. Une utilisation systématique du courrier électronique permettra de faire circuler très rapidement et très fréquemment toutes les informations, et des séminaires ou ateliers de travail pris en charge par différents membres du GDR sur des thèmes relativement pointus rassembleront (au rythme de 2 à 3 par an) une fraction appréciable de participants.

Le GDR tient aussi à jouer un rôle actif dans la formation par la recherche en facilitant et en organisant des échanges de doctorants entre les différentes équipes le composant. Il s'agit de stages courts de un ou plusieurs mois. Ces échanges seront facilités et éventuellement internationalisés grâce aux réseaux internationaux auxquels participent les membres du groupement. Par ailleurs, nous tenons à ce que ce GDR joue un rôle moteur dans l'organisation d'écoles d'été.

Egalement dans ce chapitre formation et aussi pour ce qui concerne la diffusion des connaissances, nous souhaitons favoriser et soutenir financièrement la participation des étudiants à des écoles thématiques et des congrès par l'octroi de bourses.

Enfin, nous souhaitons mettre en place et participer à un certain nombre d'actions de vulgarisation scientifique en s'inspirant par exemple de l'exposition itinérante « Jeux de Grains » basée sur la présentation d'un certain nombre d'expériences de démonstration simples sur les milieux granulaires.