

Nom et prénom du coordinateur / coordinator's name	BENKHALDOUN Fayssal		
Acronyme / Acronym	ADAPT		
Titre de la proposition de projet	Plateforme Orientée Objet de Simulation Numérique Adaptative pour l'Environnement et la Physique des Plasmas.		
Proposal title	Object Oriented Code for Adaptive Numerical Simulation of Environmental problems and Plasma Physics		
Comité d'évaluation / Evaluation committee	SIMI 1		
Projet multidisciplinaire / multidisciplinary proposal	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Si oui, indiquer un comité secondaire : SIMI 9		
Type de recherche / Type of research	<input checked="" type="checkbox"/> Recherche Fondamentale / Basic Research <input type="checkbox"/> Recherche Industrielle / Industrial Research <input type="checkbox"/> Développement Expérimental / Experimental Development		
Coopération internationale / International cooperation	<input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON		
Aide totale demandée / Grant requested	351937,00 €	Durée de la proposition de projet / Proposal duration	36 mois

1. RÉSUMÉ DE LA PROPOSITION DE PROJET / PROPOSAL ABSTRACT.....	7
2. CONTEXTE, POSITIONNEMENT ET OBJECTIFS DE LA PROPOSITION / CONTEXT, POSITIONNING AND OBJECTIVES OF THE PROPOSAL.....	8
2.1. Contexte de la proposition de projet / Context of the proposal	9
2.2. État de l'art et position de la proposition de projet / state of the art and positioning of the proposal.....	9
2.3. Objectifs et caractère ambitieux et/ou novateur de la proposition de projet / Objectives, originality and/or novelty of the proposal.....	12
3. PROGRAMME SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, ORGANISATION DE LA PROPOSITION DE PROJET / SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRAMME, PROPOSAL ORGANISATION.....	13
3.1. Programme scientifique, structuration de la proposition de projet/ Scientific programme, proposal structure.....	14
3.2. Description des travaux par tâche / Description by task.....	15
3.2.1 Tâche 1 / Task 1	16
3.2.2 Tâche 2 / Task 2	16
3.2.3 Tâche 3 / Task 3	16
3.2.4 Tâche 4 / Task 4	16
3.2.5 Tâche 5 / Task 5	16
3.2.6 Tâche 6 / Task 6	16
3.2.7 Tâche 7 / Task 7	17
3.2.8 Tâche 8 / Task 8	17
3.2.9 Tâche 9 / Task 9	17
3.3. Calendrier des tâches, livrables et jalons / Tasks schedule, deliverables and milestones.....	17
4. STRATÉGIE DE VALORISATION, DE PROTECTION ET D'EXPLOITATION DES RÉSULTATS / DISSEMINATION AND EXPLOITATION OF RESULTS, INTELLECTUAL PROPERTY.....	18
5. DESCRIPTION DU PARTENARIAT / CONSORTIUM DESCRIPTION	19
5.1. Description, adéquation et complémentarité des partenaires / Partners description and relevance, complementarity.....	19
5.2. Qualification du coordinateur de la proposition de projet/ Qualification of the proposal coordinator.....	19
5.3. Qualification, rôle et implication des participants / Qualification and contribution of each partner.....	19
6. JUSTIFICATION SCIENTIFIQUE DES MOYENS DEMANDÉS / SCIENTIFIC JUSTIFICATION OF REQUESTED RESSOURCES.....	21
6.1. Partenaire 1 / Partner 1 : XXX	21
6.2. Partenaire 2 / Partner 2 : XXX.....	22
7. ANNEXES / ANNEXES.....	22
7.1. Références bibliographiques / References.....	22
7.2. Biographies / CV, resume.....	23
7.3. Implication des personnes dans d'autres contrats / Staff involvment in other contracts.....	23

1. RÉSUMÉ DE LA PROPOSITION DE PROJET / PROPOSAL ABSTRACT

Le présent projet vise à rassembler des compétences issues de l'analyse numérique, de l'informatique et de la physique pour le développement d'une plateforme intégrée (ADAPT) en langage orienté objet réalisant des simulations numériques adaptatives de problèmes à fronts raides avec des applications en environnement et en physique des plasmas. En effet de nombreux phénomènes physiques (combustion, décharges dans les plasma, propagation d'ondes, etc.) sont caractérisés, en particulier, par la présence de fronts raides et de disparités d'échelles spatio-temporelles, dont le calcul est difficilement envisageable sans à la fois de bons solveurs numériques et une stratégie de raffinement dynamique de maillage. Des codes de simulation avec stratégie d'adaptation dynamique de maillage ont été développés en langage classique et appliqués avec succès à des problèmes de fronts raides durant les deux dernières décennies. Les phénomènes physiques considérés dans les travaux précités ([9] et [20]) sont régis par des systèmes conservatifs hyperboliques (Euler, Saint-Venant) ou paraboliques (Navier-Stokes), avec des termes sources fortement non linéaires en ce qui concerne les problèmes de combustion. Des schémas numériques aux volumes finis de type Roe pour la partie hyperbolique, et de type VF-Diamant pour la partie parabolique ont été mis en oeuvre. La raideur du problème sources est prise en compte par l'adaptation de maillage basée sur des critères physiques (taux de réaction chimique pour la combustion, ou gradient de la hauteur d'eau pour les problèmes de rupture de barrage).

Les nouveaux sujets qui intéressent la communauté scientifique et qui sont pour certains des prolongements des précédents, présentent de nouvelles difficultés, et nécessitent de disposer d'une plateforme numérique modulaire, moderne, de prise en main aisée, facilitant l'intégration de nouveaux schémas. Cette plateforme devra présenter une gestion rénovée du processus de raffinement dynamique de maillage, et être plus facilement extensible à de nouveaux problèmes et à la configuration tridimensionnelle.

Ainsi les problèmes de physique de plasma (propagation de « streamer ») sont régis par un système d'équations dont une partie est dynamique et représente un processus de convection-diffusion-réaction, et une partie est elliptique. Les problèmes d'écoulements en milieux poreux (pollution de nappes aquifères, enfouissement de déchets) sont généralement basés sur l'équation de Darcy, et sont régis par des systèmes analogues. Ces deux premiers modèles qui requièrent en particulier l'écriture de solveurs linéaires robustes pour la partie elliptique, font également apparaître des fronts raides nécessitant le raffinement dynamique de maillage. Ce raffinement repose sur l'écriture de critères fin et efficaces. Nous visons ici l'utilisation d'indicateurs issus des analyses a posteriori des schémas volumes finis utilisés. La confrontation de nos simulations à de résultats issus de l'expérience en laboratoire constituera pour nous un jalon essentiel de la validation de la plateforme ADAPT. Dans le domaine de l'environnement, l'extension du système de Saint-Venant régissant les écoulement d'eau peu profonde à des systèmes prenant en compte de fortes variations de la topographie dans l'espace et dans le temps, le transport de polluants, l'érosion et le transport-déposition de sédiment, amène à reconsidérer le modèle à surface libre avec hypothèse de pression hydrostatique. Les nouveaux modèles à plusieurs couches hydrostatiques qui sont proposés rendent le calcul exact des valeurs propres du système particulièrement difficile, tout en continuant de modéliser des écoulements à fronts raides, d'où un premier verrou scientifique. De nouveaux schémas évitant les solveurs de Riemann devront être écrits et intégrés à la plateforme ADAPT.

2. CONTEXTE, POSITIONNEMENT ET OBJECTIFS DE LA PROPOSITION / CONTEXT, POSITIONNING AND OBJECTIVES OF THE PROPOSAL

La recherche dans le domaine des méthodes d'approximation et de simulation numérique a pour objet la mise en œuvre d'outils de calcul à la fois précis, performants, et évolutifs. De tels outils ont vocation à être partie intégrante du processus d'analyse, de compréhension et de résolution de nombreux phénomènes physiques de grande complexité. L'objectif de ce projet est l'élaboration d'une plateforme numérique orientée objet (ADAPT), ayant la particularité de pouvoir résoudre divers phénomènes physiques caractérisés par la présence de fronts raides et de disparités spatio-temporelles. Le développement de cette plateforme se fera dans le cadre de notre projet autour de problèmes de physiques des plasma et d'écoulements de fluides de surface et en milieux poreux. Mais la plateforme ADAPT sera conçue pour la résolution d'une classe plus large de problèmes allant de la combustion aux écoulements multiphasiques.

Une classe importante de phénomènes physiques, focalisant l'intérêt de la communauté scientifique actuelle, sont encore mal connus et appellent à la mise en œuvre d'outils numérique de simulation performants. Ici nous considérons trois exemples particuliers de ces phénomènes en rapport avec des préoccupations industrielles et environnementales. En premier lieu le phénomène de propagation de décharges filamentaires dans un plasma froid (Streamer), intervenant entre autres dans des dispositifs de pots catalytiques nouvelle génération, constitue un problème complexe nécessitant des outils de simulation numérique efficaces. En particulier la simulation numérique de ramifications tridimensionnelles n'a pas encore été abordée et constitue un premier verrou scientifique. Les écoulements multiphasiques en milieux poreux relatifs à des préoccupations d'enfouissements de polluants sont également un exemple de problème majeur interpellant le monde de la recherche. En particulier les écoulements liquide-gaz sont difficiles à analyser, et l'écriture de modèles simplifiés et réalistes ainsi que le développement des schémas de résolution correspondants représente un second verrou scientifique pour les chercheurs. Enfin, le transport de sédiment dans les zones littorales, dont l'étude amène à l'écriture de modèles de Saint-Venant multicouches ne possédant pas toujours la propriété d'hyperbolicité, représente un phénomène complexe difficile à étudier. La recherche n'a pas encore abouti à un modèle définitif, et des schémas de résolution numériques seront à développer en fonction des différents modèles. Il s'agit là d'un troisième verrou scientifique. La caractéristique commune à tous ces phénomènes réside en un aspect multi échelles (en espace et en temps) et en la présence de fronts en propagation, dus généralement à des termes sources raides. La phase de recherche de modèles, de développement de schémas, de mise en œuvre informatique et de test, peut s'avérer longue et couteuse, voir non réalisable par l'utilisation de maillages fixes au cours des simulations numériques. Ainsi, une conjecture de Roland Borghi sur l'apparition d'une flamme triple lors de l'ignition d'une gouttelette de carburant dans un moteur, n'a pu être démontrée numériquement que par le recours au maillage adaptatif (voir [20], plus équations et résultats en Annexe).

2.1. CONTEXTE DE LA PROPOSITION DE PROJET / CONTEXT OF THE PROPOSAL

Physique des plasma: Les décharges électriques non thermiques à pression atmosphérique interviennent dans un grand nombre d'applications allant de la génération de laser à gaz à la dépollution, en passant par le bio-traitement de surface et matériaux ([31], [15]).

Les décharges à pression atmosphérique de type DBD ou couronne impulsionnelle sont utilisées dans des procédés de traitement d'effluents gazeux ou de valorisation énergétique. Ces décharges sont générées selon le mécanisme de streamer proposé à l'étude dans le cadre de ce projet de recherche. Le procédé de traitement utilisant ces décharges consiste à faire circuler l'effluent portant le polluant dans un réacteur où l'on génère ces décharges. Un élément matériel de l'effluent gazeux à traiter subit

pendant son séjour dans le réacteur un grand nombre de décharges qui induisent une chimie d'oxydation des polluants qu'il contient. Chaque streamer produit ainsi un écoulement réactif où règne une chimie complexe à des températures faibles. Les performances des procédés de traitement dépendent directement de l'efficacité de l'oxydation dans chaque microdécharge et donc de l'énergie qui y est déposée. Ils dépendent également du nombre de microdécharges générées qui fixe en partie la fraction de volume traitée. Les phénomènes de ramification 3D jouent également un rôle important sur la définition de la fraction de volume traitée. En réalité cette fraction de volume détermine un paramètre-clé du procédé de traitement : la densité de puissance absorbée par la décharge.

Les effets de propagation 3D ont un impact direct sur les performances du procédé. Par ailleurs, dans le cas d'une décharge couronne impulsionnelle, ces effets de ramification sont directement liés aux niveaux de tension et à la dynamique de l'impulsion générant la décharge.

Le développement de modèle 3D de propagation de streamer devrait permettre de comprendre et quantifier, éventuellement de manière statistique, les effets de ramification. Il permettrait également de relier ces effets de ramification aux paramètres de contrôle du procédé (forme de l'impulsion de tension). Il permettrait enfin de fournir des données plus réalistes sur la distribution de densité de puissance déposée dans la décharge. Ce dernier type d'information permettrait à l'équipe du LSPM de mettre en œuvre des simulations réaliste des écoulements réactifs produits dans ces microdécharges et conduisant à l'élimination du polluant.

Écoulements en milieux poreux: Les modèles mathématiques associés aux écoulements en milieu poreux (voir [3]), avec éventuellement transport de solutés, sont utilisés dans l'étude (prévisions, simulations) de diverses situations comme par exemple: pollution par déchets (chimiques, agricoles ou radioactifs), remédiation des sites de pollution souterraine, gestion de nappes phréatiques réserves d'eau, récupération assistée d'hydrocarbures, etc. Dans tous ces domaines, les calculs et simulations numériques sont essentiels car les expérimentations sont très difficiles, sinon impossibles, alors que les prédictions sont vitales.

Écoulements côtiers et transport de sédiments: La question de l'environnement revêt une importance de plus en plus cruciale de nos jours. Des craintes justifiées sont exprimées quant à l'empreinte écologique de nos diverses activités. En particulier la protection du littoral reste une préoccupation majeure. Parmi les phénomènes auxquels on s'intéresse, on peut citer: l'effet du réchauffement climatique sur l'augmentation du niveau de la mer, le puissance d'une onde marine déferlante, le risques sur les ouvrages côtiers. Se pose également la question de l'évolution des fonds marins (voir [9]), sous l'effets de causes variées: rejets de matières diverses, transports d'objets suite aux crues et inondations, effet naturel de courants sous marins. Afin d'apporter des réponses rationnelles argumentées et quantifiées à ces divers questionnements, la nécessité de disposer de modèles fiables de simulation numérique reste d'actualité.

2.2. ÉTAT DE L'ART ET POSITION DE LA PROPOSITION DE PROJET / STATE OF THE ART AND POSITIONING OF THE PROPOSAL

Des codes de simulation avec stratégie d'adaptation dynamique de maillage ont été développés en langage classique (Fortran) et appliqués avec succès à des problèmes de fronts raides durant les deux dernières décennies (voir notamment ([20], [8])). Les phénomènes physiques considérés dans les travaux précités sont régis par des systèmes conservatifs hyperboliques (Euler, Saint-Venant) ou paraboliques (Navier-Stokes), avec des termes sources fortement non linéaires en ce qui concerne les problèmes de combustion. Des schémas numériques aux volumes finis de type Roe pour la partie hyperbolique, et de type VF-Diamant pour la partie parabolique ont été mis en oeuvre. La raideur des termes sources étant prise en compte par l'adaptation de maillage basée sur des critères physique (taux de réaction chimique pour la combustion, ou gradient de la hauteur d'eau pour les problèmes de

rupture de barrage). Toutefois les codes en langage classique sont assez désuet, de prise en main difficile, leur maintenance exige de gros investissements en terme de ressource humaines, et le passage d'un problème physique à un autre, demande de considérable efforts d'adaptation de la part de l'utilisateur.

Les nouveaux problèmes qui intéressent la communauté scientifique, cités plus haut, et qui sont pour certains des prolongements des problèmes précédents, présentent de nouvelles difficultés, et nécessitent de disposer d'une plateforme numérique modulaire, moderne, de prise en main aisée, facilitant l'intégration de nouveaux schémas. Cette plateforme devra présenter une gestion rénovée du processus de raffinement dynamique de maillage, basée sur des indicateurs d'erreur performants, et être plus facilement extensible à de nouveaux problèmes et au contexte tridimensionnel. C'est là l'objet du présent projet.

Nous présentons dans ce qui suit un exposé détaillé de chacun des trois problèmes physiques que l'on considère dans ce travail.

Physique des plasma:

Les décharges électriques intervenant en physique des plasmas sont obtenues par application d'une forte tension (quelques dizaine de kV) dans un gaz. Il s'agit de milieux gazeux faiblement ionisés contenant des électrons et des ions en mouvement sous l'effet du champ électrique généré par la tension dans un milieu globalement neutre [26].

Ces décharges sont filamentaires avec des diamètres de l'ordre de 100 microns et des longueurs qui peuvent varier de quelques mm à quelques cm. Elles sont en outre caractérisée par une forte ramification qui leur confère souvent un caractère tridimensionnel [13]. Les équations caractérisant la propagation de ces décharges ont été établies depuis un grand nombre d'années (quelques décennies) [30]. Il s'agit typiquement d'équations de transport de type convection-diffusion-réaction pour les électrons et les ions, couplées à une équation de Poisson qui donne le potentiel électrique dont le gradient (le champ électrique) détermine de manière non-linéaire les vitesses de convection des espèces chargées, leurs coefficients de transports et les termes sources dont certains sont non locaux. Des schémas d'ordres élevés ont été proposées pour résoudre certaines formes approximatives des équations décrivant ce problème dans le cas de géométrie à symétrie axiale [19]. Ils ont permis de montrer que ces décharges sont caractérisées par des raideurs spatiales et temporelles assez exceptionnelles avec des fronts raides de densité d'électrons, de charge d'espace et de champ électrique qui détermine fortement les termes sources des équations de transport qui impacte l'onde d'ionisation.

Malgré un grand nombre d'étude sur la simulation numérique de ce type de système, il reste à notre avis un grand nombre de problématiques à traiter dans le cas de ce genre de système.

En effet:

- (i) Il n'existe à notre connaissance aucune analyse rigoureuse des caractéristiques des schémas numériques utilisés en 2D ou 3D (stabilité, convergence, etc.).
- (ii) Les raideurs spatio-temporelles de ces systèmes se prêtent bien à l'utilisation de techniques de maillages adaptatives qui n'ont été que très peu utilisé et étudié jusqu'à présent.
- (iii) La simulation 3D et l'étude des ramifications de ces systèmes qui sont par nature tridimensionnelles n'a été quasiment pas abordée dans la littérature.

Par ailleurs, les schémas d'intégration explicite en temps adoptés par tous les auteurs conduisent à des restrictions très importantes sur le pas d'intégration qui est souvent déterminé par la fréquence plasma, i.e., le couplage entre l'équation de Poisson et le transport des électrons, et peut descendre jusqu'à des valeurs de l'ordre de 10^{-14} , 10^{-15} s pour des durée d'intégration de l'ordre de quelques dizaines de nanosecondes. Il serait intéressant d'examiner la possibilité du développement d'un schéma implicite en temps.

Écoulements en milieux poreux:

Les modèles d'écoulements en milieux poreux, mono ou multiphasiques, avec transport de solutés sont représentés par des systèmes d'équations aux dérivées partielles de type diffusion-convection-réaction. Les domaines spatiaux considérés pour les applications font apparaître les spécificités suivantes : de très forts contrastes de propriétés (matériaux poreux différents, failles, fractures géologiques) dans des géométries non structurées. des données et paramètres connus avec incertitude ou même sous forme de réalisations de variables aléatoires. Des échelles de temps extrêmement différentes pour des phénomènes différents.

La simulation numérique de ces modèles à l'aide de méthodes performantes nécessite l'usage de schémas numériques adaptés. Ceci amène à combiner des schémas numériques différents pour les différents termes (diffusion, convection, etc.) constituant le système d'équations aux dérivées partielles du modèle considéré (voir [3]). Les difficultés liées à la simulation de tels processus portent donc à la fois sur la façon de mailler et sur les schémas numériques.

En raison de la complexité des milieux poreux (hétérogénéité anisotropie) le développement de méthodes peu coûteuses, de mise en oeuvre simple sur des géométries complexes, constitue un challenge permanent. De ce point de vue les méthodes de volumes finis présentent certains avantages (simplicité de mise en oeuvre, propriété de conservation). Cependant si elles sont bien adaptées pour le traitement des termes hyperboliques, la prise en compte des termes elliptiques présentent une certaine difficulté pour les méthodes de volumes finis. Ainsi ces dernières années un certain nombre de méthodes ont été développées pour approcher les opérateurs elliptiques, on peut citer :

- les volumes finis mixte [18], les volumes finis hybrides [21, 22],
- les méthodes de type diamant [16],
- les méthodes de type DDFV [17],
- les méthodes MPFA [1, 28].

Afin de trouver un bon compromis entre le coût et la précision de ces différentes méthodes on a habituellement recours aux techniques de raffinements maillages basées sur des estimations a posteriori. Ainsi une étude d'erreur a posteriori a été entamée en collaboration avec P. Omnes et A. Mahamane pour le schéma DDFV. Cette étude basée sur les récentes techniques [33, 27] a permis la dérivation d'estimateurs d'implémentation simple, de cout faible en temps de calcul [29]. L'application de cette étude aux écoulement en milieu poreux constitue un des axes de ce projet.

Écoulements Multicouches et transport de sédiments:

Les modèles multicouches et les modèles de transport couplé St Venant-transport de sédiment font apparaître de nombreux sous-modèles exprimant le frottement sur le fond ou entre les diverses couches ainsi que les lois et corrélations expérimentales décrivant le transport des sédiments. Les lois et corrélations expérimentales qui gouvernent le transport de sédiments sont très nombreuses et de natures diverses. On peut distinguer les modélisations déterministes et les modélisations stochastiques. Le phénomène physique principal concerné ici consiste essentiellement en un écoulement à surface libre avec effet d'érosion, de déposition et de transport de sédiment.

Un des modèles clef en modélisation de l'hydrodynamique fluviale et côtière est le modèle des équations de Saint Venant (Shallow water equations) mono couche formulé en variables hauteur et vitesse de la colonne d'eau. La prise en compte de courants marins de densité différentes, ou du changement de la topographie du fond due au transport et au dépôt arrachement de sédiments, qui suppose une estimation plus précise de la vitesse d'écoulement au niveau du fond du canal considéré, nécessite de prendre en compte plusieurs extensions de ce modèle. D'une part, la modélisation de l'évolution de la topographie du fond doit être décrite par une équation morphodynamique adjointe à une équation de transport de concentration de sédiments, les deux étant couplées à un système de St Venant prenant en compte les effet d'érosion et de déposition. D'autre part on doit écrire une version

multi-couches des équations de Saint Venant qui va représenter la colonne d'eau non plus par une couche unique mais par plusieurs couches de caractéristiques différentes.

D'un point de vue mathématique et numérique, l'approximation du système de Saint-Venant multicouche pose de nombreux problèmes, en particulier la présence de termes non conservatifs entre les différentes couches qui peut conduire à une perte d'hyperbolicité du système. La présente proposition étudiera ce problème d'un point de vue théorique et numérique, et proposera plusieurs méthodes d'approximation dans le cadre de la plateforme ADAPT.

Une première difficulté inhérente au modèle Saint Venant monocouche en présence de topographie statique irrégulière, consiste en la présence de termes sources non conservatifs et le sens à leur donner. En effet, ces termes ne peuvent s'interpréter d'un point de vue mathématique en termes de produits de distributions, et les schémas d'approximation classiques s'avèrent inopérants à en rendre compte.

Un travail réalisé en 2001 a permis de développer des solutions exactes d'un modèle de ces équations consistant en la rupture de barrage sur un fond en forme de marche [4]. Parallèlement la classe des schémas équilibre apparue durant les deux dernières décennies, a permis de mettre en oeuvre des schémas numériques efficaces ([11] [24] [25]). En particulier le schéma développé en 2002 [8] et sa version avec matrice signe [32] permettent de mener des comparaisons avec les solutions exactes de [4], de mettre en évidence un problème de stagnation de la convergence, et d'y apporter une solution via une régularisation de la solution initiale (voir Annexe).

Une extension du schéma [32] au domaine bidimensionnel a été réalisée, en exploitant les travaux de [2], et conduit à des résultats intéressants pour le problème de transport de polluant dans le détroit de Gibraltar, avec raffinement dynamique de maillage [8].

2.3. OBJECTIFS ET CARACTÈRE AMBITIEUX ET/OU NOVATEUR DE LA PROPOSITION DE PROJET / OBJECTIVES, ORIGINALITY AND/OR NOVELTY OF THE PROPOSAL

Simulation de propagation de décharges dans un plasma:

On se propose dans cette partie du projet d'établir plusieurs modèles de complexité croissante pour les décharges dans les plasmas, de les analyser et de réaliser leur validation numérique au sein de la plateforme ADAPT. En un premier temps on considérera des configurations bidimensionnelles, et dans une étape plus ambitieuse le cas à trois dimensions d'espace. Cela nécessitera pour l'équipe du Laga le développement, l'analyse et la mise en oeuvre de schémas numériques efficaces pour les termes de diffusion et de convection sur maillage non structuré. On s'appuiera en particulier sur les résultats de l'atelier (Benchmark) organisé en juin 2011 autour de cette thématique dans le cadre de sixième symposium sur les volumes finis (FVCA6 – <http://fvca6.fs.cvut.cz>).

L'équipe du LSPM propose de fournir des modèles physiques de décharges dans des mélanges azote-oxygène. Ceci implique le calcul de coefficients de transport permettant l'évaluation des flux de convection et de diffusion des électrons et ions, l'évaluation des termes sources locaux d'ionisation/attachement et non locaux de photo-ionisation et la spécification de conditions aux limites réalistes (souvent non linéaires). La difficulté la plus importante dans ce type de modèle concerne l'estimation du terme source non local de photoionisation. La complexité de ce terme et la difficulté de son estimation numérique nous amène à adopter une démarche par étape concernant sa prise en compte dans les équations de transport. Nous commencerons dans un premier temps par proposer les modèles les plus simples possibles de manière à alléger le travail de développement de la plate-forme de résolution des équations de transport. Ainsi utiliserons-nous dans un premier temps un modèle de densité d'électrons de fond qui permet de simuler les avalanches secondaires d'électrons produits par photoionisation en tête de streamer. Ceci a pour avantage de remplacer le terme de photo ionisation

par une source locale et quasi-linéaire. Un second modèle proposé par l'équipe consistera à restreindre la prise en compte du terme de photo-ionisation à une région limitée de l'espace où cet effet devient prédominant par rapport à une ionisation par impact d'électrons et joue un rôle majeur dans la propagation du streamer. Dans le même temps l'effet non local sera restreint à une zone limitée autour du volume de contrôle considéré. L'objectif est de remonter à une approximation précise de ce terme tout en minimisant son caractère non local.

Volumes finis adaptatifs pour systèmes de convection-diffusion réaction en milieux poreux:

Les objectifs de cette partie sont de développer des modèles mathématiques et numériques permettant de décrire des écoulements de deux fluides immiscibles (eau-gaz pour Pau) et (eau-huile pour Paris13) et de mettre en oeuvre des stratégies communes de raffinement dynamique de maillage. Celles-ci seront basées sur des estimateurs d'erreur, ce qui n'a jamais été fait, et intégrées à la plateforme ADAPT. L'équipe de Pau reprendra un modèle développé en 2008 permettant d'affaiblir le couplage entre les équations du modèle diphasique et se prêtant à une étude rigoureuse de point de vue mathématique et de l'analyse numérique. L'approche numérique sera basée sur l'extension d'une méthode combinée volumes finis éléments finis développée précédemment par l'équipe, et des estimateurs d'erreur seront développés. L'équipe de Paris 13 et l'équipe du CEA poursuivront le travail réalisée dans le cadre de la thèse d'Amadou Mahamane soutenue en Avril 2009. L'analyse du schéma VF-mixte sera poursuivie et des estimateurs d'erreur développés et utilisé pour établir un critère de raffinement.

Modélisation multi-couches pour la simulation du transport des sédiments:

Un des modèles clef en modélisation de l'hydrodynamique fluviale et côtière est le modèle des équations de Saint Venant formulé en variables hauteur et vitesse. La prise en compte du changement de la topographie du fond due au transport et au dépôt arrachement de sédiments, qui suppose une estimation plus précise de la vitesse d'écoulement au niveau du fond du canal considéré, nécessite de prendre en compte plusieurs extensions de ce modèle. D'une part, la modélisation de l'évolution de la topographie du fond sera décrite par une équation morphodynamique adjointe à une équation de transport de concentration de sédiments, les deux étant couplées à un système de St Venant prenant en compte les effet d'érosion et de déposition. D'autre part on écrira une version multi-couches des équations de Saint Venant qui va représenter la colonne d'eau non plus par une couche unique mais par plusieurs couches de caractéristiques différentes. D'un point de vue mathématique et numérique, l'approximation du système de Saint Venant multi-couche pose de nombreux problèmes, en particulier la présence de termes non conservatifs entre les différentes couches qui peut conduire à une perte d'hyperbolicité du système. La présente proposition étudiera ce problème d'un point de vue théorique et numérique, et proposera plusieurs méthodes d'approximation dans le cadre de la plateforme ADAPT.

3. PROGRAMME SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, ORGANISATION DE LA PROPOSITION DE PROJET / SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRAMME, PROPOSAL ORGANISATION

3.1. PROGRAMME SCIENTIFIQUE, STRUCTURATION DE LA PROPOSITION DE PROJET/ SCIENTIFIC PROGRAMME, PROPOSAL STRUCTURE

Physique des plasmas: Les calculs seront effectués au sein de la plateforme orientée objet adaptative ADAPT. Cette plateforme est en cours de développement dans le cadre de la thèse en cotutelle de Jan Karel (Université technique de Prague). A ce titre des schémas numériques ont déjà été intégrée à la plateforme. AUSM+up, SRNH, Roe pour les systèmes hyperboliques, VF-Diamant (en vue de DDFV

et VF-Mixte) pour les termes elliptique et paraboliques, ainsi que le solveur linéaire direct pour matrice creuses UMFPACK. Des résultats préliminaires ont été obtenus (voir annexe E), ont fait l'objet d'une première communication commune à la conférence ESCO (<http://hpfem.org/events/esco-2010/>), et un article a été soumis pour publication.

Une première étape, fondamentale pour cette partie du projet, aura pour objectif le développement et la mise en oeuvre au sein de la plateforme ADAPT, d'un code bidimensionnel pour la simulation numérique adaptative de modèles de décharge de complexité variable. Ce code intégrera des schémas volumes finis récents (VF-Diamant, VF-mixte, DDFV) et s'appuiera sur des analyses d'erreurs a posteriori pour la partie adaptation de maillage. Le système linéaire issu de l'équation elliptique sera résolu par des méthode efficaces du type du solveur « Umfpack ».

L'équipe du LSPM a développé des modèles numériques permettant la prédiction des performances des procédés de traitement d'effluents gazeux contenant des polluants organiques. Ces modèles numériques qui sont extrêmement détaillé au niveau de la description thermique (dépôt d'énergie) et chimique (transformation du polluant) utilisent des hypothèses fortes sur les aspects écoulement et structure de décharge: décharge à symétrie cylindrique, écoulement piston, dépôt d'énergie homogène spatialement. Malgré ces hypothèses fortes ces modèles ont donné des résultats très encourageant en prédisant avec une bonne précision le taux d'abattement en fonction de la densité de puissance. Il reste cependant que cette densité de puissance est estimé de manière approximative à partir de mesures expérimentales (modèle non autocohérent) et que les prédiction sur certains composés secondaires pouvant être toxiques reste relativement imprécise. La mise en place de modèle 3D devrait permettre de nous donner une distribution de densité de puissance de manière auto-cohérente, i.e. compatible avec les paramètres de décharges, e.g. signal de tension d'excitation, composition, etc. Ceci devrait améliorer dans un second temps le caractère prédictif des modèles thermochimique utilisés pour analyser les performances du procédé d'abattement.

D'un point de vue pratique l'équipe du LSPM propose de développer les modèles thermochimiques prenant en compte le caractère 3D de dépôt de puissance. 2 alternatives seront considérées:

1. Le développement de modèles d'écoulement réactif 3D avec une chimie simplifiée mais pertinente en termes de description de la cinétique de dégradation et de la production d'espèces secondaires toxiques. Un travail important sera conduit sur la simplification de la cinétique de dégradation. Ce travail inclura aussi bien un aspect modélisation numérique avec des études de sensibilité sur des systèmes dynamiques fortement non linéaires de grande taille (les systèmes dérivant des équations de bilan de cinétique chimique), qu'un lourd travail expérimental faisant appel à des études de physique des décharges électriques et de cinétique de dégradation des polluants. Nous travaillerons sur un polluant modèle : l'acétylène qui présente un intérêt aussi bien au niveau de l'application (espèce modèle représentatif d'une classe de composés organiques volatil et précurseur de suies)
2. La prise en compte du caractère 3D de la décharge dans le cadre de modèle de transport réactif mettant en jeu des techniques d'homogénéisation, notamment des termes sources de dépôt d'énergie et de conversion chimique (termes non linéaires). Nous mènerons ces travaux en collaboration avec nos partenaires du projet en nous inspirant de ce qui existe déjà sur d'autres systèmes aléatoires où à caractère statistique.

Par ailleurs, l'équipe du LSPM fournira des simulation 1D pour tester qualitativement la validité des premiers résultats obtenus par simulation 2D (et 3D). Ces simulations sont effectuées avec des codes 1D qui utilisent des schémas numériques d'ordre élevé (schéma QUICKEST de Leonard avec divers types de limiteurs de flux). Afin de prendre en compte le caractère fini du diamètre du streamer, l'équation de Poisson est substituée par un calcul direct du champ en se donnant un diamètre du streamer et en simulant les surfaces équipotentielles que représentent les électrodes grâce à la

technique d'images électriques. Ces simulations devraient en particulier aider à l'évaluation des premiers tests en 2D ou 3D sur des éléments comme la dynamique des fronts de densité d'électrons et de champ électrique.

En outre le LSPM se propose d'effectuer des expériences de validation qui s'appuient en particulier sur du diagnostic électrique de la décharge, de la spectroscopie optique et de l'imagerie optique résolue en temps. Le laboratoire dispose déjà de moyens significatifs en termes de caméra rapide, spectrométrie d'émission et sondes électriques de tension et courant. Les mesures électriques permettront de caractériser l'énergie injectée dans ces décharges et repérer le temps de démarrage de la propagation de streamer de manière à déclencher avec une bonne précision temporelle les outils de diagnostics spectroscopique et d'imagerie. Un système de photomultiplicateurs à temps de montée rapide seront utilisés pour mesurer la vitesse de propagation de l'onde d'ionisation. Une camera à faible temps d'ouverture sera utilisée pour suivre la topologie des décharges et notamment la structure de leur ramification en fonction des conditions expérimentales. Ces mesures donneront une base de validation des calculs numériques.

Écoulements en milieu poreux:

Globalement, les objectifs de cette partie, prise en charge par les équipes de Pau et Paris 13, sont de développer des modèles mathématiques et numériques basée sur le concept de pression globale, permettant de décrire des écoulements de deux fluides immiscibles (eau-gaz pour Pau) et (eau-huile pour Paris13, voir Annexe D) et de mettre en œuvre des stratégies communes de raffinement dynamique de maillage. Celles-ci seront basées sur des estimateurs d'erreur et intégrées à la plateforme ADAPT. L'équipe de Pau reprendra un modèle développé en 2008 permettant d'affaiblir le couplage entre les équations du modèle diphasique et se prêtant à une étude rigoureuse de point de vue mathématique et de l'analyse numérique. L'approche numérique sera basée sur l'extension d'une méthode combinée volumes finis éléments finis (VFEF) développée précédemment par l'équipe, et des estimateurs d'erreur seront développés.

L'équipe du LMAP a développé et continue de développer des prototypes pour la simulation d'écoulements en milieux poreux et dispose d'une plateforme orientée objet de simulation numérique Mflow¹ capable de simuler des écoulements miscibles ou bien immiscibles incompressibles dans un milieu poreux. Un des objectifs du projet ANR ADAPT est de développer un module pour cette plateforme pour simuler des écoulements immiscibles et compressibles en milieux poreux comme par exemple l'eau et le gaz dans un réservoir. Il s'agit de développer une méthode numérique performante et de l'implémenter pour le système d'équations aux dérivées partielles modélisant un écoulement multiphasique compressible en milieux poreux, chaque phase étant formée de plusieurs constituants. Le but est d'élargir les champs d'applications de la plateforme MFlow à des situations issues de modélisation de problèmes physiques, comme par exemples ceux liés à l'environnement (ressources en eau, stockage souterrain des gaz (CO₂, gaz naturel), gestion des déchets radioactifs,...), à l'énergie (pétrole, géothermie,...) et à l'écoulement de fluides complexes.

L'équipe de Paris 13 poursuivra le travail réalisée dans le cadre de la thèse d'Amadou Mahamane soutenue en Avril 2009. F. Benkhaldoun et A. Mahamane poursuivront l'analyse du schéma VF-mixte et des estimateurs d'erreur développés et utilisé pour établir un critère de raffinement en vue de l'implémentation de VF-Mixte dans ADAPT. P. Omnes (CEA) et A. Mahamane poursuivront le travail d'analyse du schéma DDFV, avec également comme objectif le développement d'indicateurs d'erreur et l'implémentation de DDFV au sein du code ADAPT.

1- A platform for numerical simulation of **Multiphase Flow** in Heterogeneous Porous Media.

Écoulements Multicouches et transport de sédiments:

Concernant des lieux comme le détroit de Gibraltar, la présence de courants marins de densité et de température différentes (eau en provenance de l'océan et eau de la méditerranée), où les effets de circulation dus à la force d'entraînement du vent, ne peut être valablement représentée par le modèle Saint-Venant monocouche. Un travail d'extension de ce système (sans transport de sédiments ici) aux modèles multicouches proposés dans [12] et [5], en vue de l'intégration à la plateforme ADAPT, est en cours dans le cadre de la thèse en co-tutelle de Nouh Izem (Université d'Agadir). Le traitement de la non hyperbolicité du système multicouche considéré, sera abordé par des méthodes s'inspirant de celles utilisées pour le traitement des systèmes diphasiques dans [32], et des comparaisons seront établies avec les résultats obtenus avec des systèmes Navier Stokes complet.

Le problème d'évolution du fond d'un canal sous l'action de l'hydrodynamique, qui est une première approche du problème de transport de sédiment mais sans les effets d'érosion et de dépôt, a également été traité récemment, en considérant le fond comme une variable supplémentaire, et des résultats avec maillages adaptatifs obtenus [9]. Notons que nous avons là un exemple typique de problème multi-échelles en espace et en temps, et que son approximation par un système Saint Venant mono couche est de portée limitée quant à la précision de la vitesse intervenant dans le transport du fond du canal. Récemment des modèles plus complets de systèmes de Saint-Venant monocouche prenant en compte les effets d'érosion et de dépôt de sédiment ont été proposés à l'étude par divers auteurs. Nous avons opté pour le modèle proposé dans [34], et quelques résultats ont été obtenus en configuration 1D et 2D (voir Annexes). Ce modèle sera également repris dans le cadre de l'approximation multicouche en vue de simulation bidimensionnelles adaptatives. Le système qui en résultera ne se prêtant pas au calcul par des méthodes de solveurs de Riemann (difficulté d'établir un système de valeurs propres et vecteurs propres du fait de l'équation du lit mobile, possible non hyperbolicité), on s'orientera vers des schémas du type de celui présenté dans [10], alliant l'approche volumes finis à la méthode des caractéristiques. C'est un travail conséquent, dont une partie se fera dans le cadre de la thèse de Mlle Saida Sari allocataire de recherche à l'université Paris 13.

3.2. DESCRIPTION DES TRAVAUX PAR TÂCHE / DESCRIPTION BY TASK

Actuellement le laboratoire LAGA dispose d'une version de la plateforme ADAPT en 2D (ADAPT2D) en langage C++, réalisant des simulations de systèmes d'Euler avec raffinement dynamique de maillage. On dispose également d'une maquette 3D (ADAPT3D) pour le système d'Euler avec adaptation de maillage. La mise en oeuvre du projet ADAPT se fera donc par la réalisation de plusieurs tâches sur 36 mois découpés en semestre de S1 à S6, déclinées comme suit:

3.2.1 TÂCHE 1 / TASK 1

T1: Coordination entre les équipes, encadrement de la mise en oeuvre de la plateforme ADAPT, intégration de nouveaux schémas et mise en cohérence.

La tâche T1 aura cours des semestres S1 à S6.

Le responsable de cette tâche est Fayssal Benkhaldoun.

Les participants sont Xavier Duten et Brahim Amaziane.

3.2.2 TÂCHE 2 / TASK 2

T2: Modèles Physiques et simulation numérique adaptative de modèles de décharge dans les plasmas.

Le responsable de cette tâche est M. Touchard.

Les participants sont MM Benkhaldoun et Sylvain Touchard, Mlle Michau, un post Doc et un CDD.

L'objectif de cette tâche est de proposer des modèles de complexité croissante pour l'étude des problèmes de décharge dans les plasmas froids (Streamer). On vise l'écriture de schémas volumes finis 1D, 2D et 3D non structurés et l'implémentation de ces schémas au sein de la plateforme ADAPT.

Les résultats numériques seront validés par les résultats expérimentaux.

La tâche T2 se déroulera en 3 phases des semestres S1 à S6 avec 3 rapport R1, R2 et R3.

Phase 1: Au cours des semestres S1 et S2 des modèles 1D de complexité variable seront établis et simulés numériquement. Interviendront dans cette phase M. Touchard et Mlle Michau. Les résultats seront comparés à ceux de la littérature et un rapport R1 rédigé.

Phase 2: Les semestres S3 et S4 seront consacrés à l'introduction du schéma VF-Mixte pour le modèle de Streamer dans la plateforme ADAPT. On considérera à la fois la configuration 2D et 3D. Des comparaisons seront menés avec les résultats expérimentaux et un rapport R2 rédigé. Interviendront dans cette phase M. Benkhaldoun plus un post Doc.

Phase 3: Les semestres S3 et S4 seront consacrés à l'introduction du schéma DDFV pour le modèle de Streamer dans la plateforme ADAPT. On considérera à la fois la configuration 2D et 3D. Des comparaisons seront menés avec les résultats expérimentaux et un rapport R3 rédigé. Interviendront dans cette phase M. Benkhaldoun plus un CDD.

3.2.3 TÂCHE 3 / TASK 3

T3: Expérimentations sur le problème de décharges dans les plasmas

Il s'agit dans cette tache de procéder à la réalisation d'expériences de laboratoire pour le problème du Streamer, en vue de valider les résultats obtenus par les codes numériques.

Le responsable de cette tache est M. Duten

Interviendront au cours de cette phase M. Duten, Mme Vega et un Post Doc.

La tâche T3 se déroulera sur les semestres S3 et S4 avec un rapport R4.

3.2.4 TÂCHE 4 / TASK 4

T4: Analyse d'erreur a posteriori pour les schémas VF-Mixte et DDFV.

Le responsable de cette tache est M. Pascal Omnes.

La tâche T4 se fera en S1 et S2 avec 2 rapports R5 et R6. Les intervenants pour cette tache sont MM. Benkhaldoun et Omnes plus un CDD.

3.2.5 TÂCHE 5 / TASK 5

T5: Schémas VF-Mixte et DDFV pour la simulation numérique adaptative d'écoulements en milieux poreux

Le responsable de cette tache est M. Fayssal Benkhaldoun.

Les intervenants sont MM. Benkhaldoun et Omnes, un CDD et un post Doc.

Il s'agit de réaliser l'implémentation des schémas VF-Mixte et DDFV au sein de la plateforme ADAPT et de réaliser des simulations numériques adaptatives 2D et 3D d'écoulements diphasiques incompressibles en milieux poreux. Le processus d'adaptation sera basé sur les critères développés dans la tache 4. Cette tache est en rapport avec les phases 2 et 3 de la tache 2.

La tâche T5 se déroulera de S3 à S6 et donnera lieu à 2 rapports R7 et R8.

3.2.6 TÂCHE 6 / TASK 6

T6: Schéma VFEF pour la simulation numérique adaptative d'écoulements en milieux poreux

Le responsable de cette tache est M. Amaziane.

Les intervenants sont M. Benkhaldoun, Mlle Milisic et un Post Doc.

Cette tâche se déroulera en deux phases:

Phase 1: Analyse d'erreur du schéma VFEF au cours des semestres S1 et S2.

Phase 2: Il s'agit de réaliser l'implémentation du schéma FVEF au sein de la plateforme ADAPT et de réaliser des simulations numériques adaptatives en 2D et 3D d'écoulements diphasiques compressibles en milieux poreux. Le processus d'adaptation sera basé sur les critères développés dans la phase 1.

La tâche T6 se déroulera de S1 à S4 avec 2 rapport R9 et R10.

3.2.7 TÂCHE 7 / TASK 7

T7: Etude du modèle 1D de Saint-Venant multicouches avec échange de masse et transport de sédiment

Le responsable de cette tâche est M. Audusse

Les intervenants sont M. Benkhaldoun et Mlle Sari.

Cette tâche se déclinera en deux phases.

Phase 1: Etude du modèle 1D de Saint-Venant monocouche avec érosion, déposition et transport de sédiments. Différents modèles de sédiments et d'évolution du lit de l'écoulement (Exner, Peter-Meyer) seront étudiés et approchés numériquement par les schémas développés à Paris 13 (Srnh, schéma cinétique, schéma FV-Characteristiques).

Phase 2: Etude du modèle 1D de Saint-Venant multicouches avec échange de masse et sans transport de sédiments. Ici on considère le modèle développé par E. Audusse et ses co-auteurs. Les schémas utilisés sont similaires à ceux de la phase 1. Des cas-test unidimensionnels seront sélectionnés et à l'issue de cette phase, un atelier de comparaison des méthodes sera organisé.

La tâche T7 sera réalisé en S1 et S2 et donnera lieu à deux rapports R11a et R11b.

3.2.8 TÂCHE 8 / TASK 8

T8: Etude du modèle de Saint-Venant multicouche sans échange de masse

Le responsable de cette tâche est M. Benkhaldoun

Les participants sont M. Benkhaldoun et M. Izem

La tâche se déclinera en deux étapes:

Etape 1: les semestres S1 et S2 pour l'étude du cas 1D, d'abord sans transport de sédiment (MuP1D) ensuite en rajoutant les phénomènes de déposition, érosion et transport de sédiment (MuSP1D).

Le schéma envisagé a priori est Srnh avec le recours à une démarche analogue à celle utilisée pour les écoulements diphasiques [32], mais on peut aussi envisager d'appliquer le nouveau schéma Volumes Finis caractéristiques [10].

Les résultats seront comparés à ceux de la littérature sur le sujet. Un rapport R12 sera rédigé à l'issue de l'étape.

Etape 2: Mise en oeuvre 2D au sein de la plateforme ADAPT au cours des semestres S3 et S4.

Les résultats seront comparés à ceux de la littérature sur le sujet. Un rapport R13 sera rédigé à l'issue de l'étape.

3.2.9 TÂCHE 9 / TASK 9

T9: Schéma Volumes Finis – Caractéristiques pour le modèle de Saint Venant Multicouche.

Analyse, application 1D et mise en oeuvre 2D (au sein de ADAPT), du nouveau schéma Volumes Finis Caractéristiques pour l'étude du modèle de Saint-Venant multicouche avec échange de masse [5] et transport de sédiment (MuSE2D). Les intervenants ici sont MM. Audusse et Benkhaldoun et Mlle Sari.

La tâche T9 se déroulant de S1 à S4 donnera lieu à 2 rapports R14 et R15.

3.3. CALENDRIER DES TÂCHES, LIVRABLES ET JALONS / TASKS SCHEDULE, DELIVERABLES AND MILESTONES

Table des participants:

Séniors				
Initiales	Prénom	Nom	Organisme	Qualité
BA	Brahim	AMAZIANE	LMAP/UPPA	Permanent
EA	Emmanuel	AUDUSSE	LAGA/Univ. Paris 13	Permanent
FB	Fayssal	BENKHALDOUN	LAGA/Univ. Paris 13	Permanent
XB	Xavier	BONNIN	LSPM-CNRS	Permanent
XD	Xavier	DUTEN	LSPM-CNRS	Permanent
AM	Armelle	MICHAU	LSPM-CNRS	Permanent
PM	Pina	MILISIC	CNRS	Associé
PO	Pascal	OMNES	CEA	Permanent
ST	Sylvain	TOUCHARD	LSPM-CNRS	Permanent
AV	Arlette	VEGA	LSPM-CNRS	Permanent
Juniors				
Initiales	Prénom	Nom	Organisme	Qualité
SS	Saida	SARI	LAGA/Univ. Paris 13	Doctorant

LEXIQUE:	
LAGA	Laboratoire Analyse Géométrie et Applications
LSPM	Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux
LMAP	Laboratoire des Mathématiques et de leurs Applications
UPPA	Université de Pau et des Pays de l'Adour

DIAGRAMME DE GANTT						
Années	Année 1		Année 2		Année 3	
Semestres	S1	S2	S3	S4	S5	S6
T1: Coordination Responsable: F. Benkhaldoun Participants: B. Amaziane, X? Duten						
T2: Modèles Physiques et simulation numérique adaptative de modèles de décharge dans les plasmas. Responsable: S. Touchard Participants: F. Benkhaldoun, S. Touchard, A. Michau, un psot Doc et un CDD						
T3: Expérimentations sur le problème de décharges dans les plasmas Responsable: X Duten Participants: X. Duten, A. Vega et un Post Doc.						
T4: Analyse d'erreur a posteriori pour les schémas VF-Mixte et DDFV Responsable: P. Pascal Omnes Participants: F. Benkhaldoun; P. Omnes plus un CDD						
T5: Schémas VF-Mixte et DDFV pour la simulation numérique adaptative d'écoulements en milieux poreux Responsable: F. Benkhaldoun Participants: F. Benkhaldoun, P. Omnes, un CDD et un post Doc.						
T6: Schéma VFEF pour la simulation numérique adaptative d'écoulements en milieux poreux Responsable: B. Amaziane Participants: B. Amaziane, F. Benkhaldoun, P. Milisic et un Post Doc						
T7: Etude du modèle 1D de Saint-Venant multicouches avec échange de masse et transport de sédiment Responsable: E. Audusse Participants: E. Audusse, F. Benkhaldoun, S. Sari						
T8: Etude du modèle de Saint-Venant multicouche sans échange de masse Responsable: F. Benkhaldoun Participants: E. Audusse, F. Benkhaldoun						
T9: Schéma Volumes Finis – Caractéristiques pour le modèle de Saint Venant Multicouche Responsable: F. Benkhaldoun Participants: E. Audusse, F. Benkhaldoun, S. Sari						

• <i>TABLEAU des LIVRABLES et des JALONS</i>			
Tâche	Intitulé et nature des livrables et des jalons	Date de fourniture <i>nombre de mois à compter de T0</i>	Partenaire responsable du livrable/jalon
1.			
2.			
	Rapport R1 sur les modèles 1D en physiques des plasmas	30/06/2012 6	LESP
	Rapport R2 sur la simulation de Streamer par le schéma F-Mixte	30/12/2013 24	LAGA et LESP
	Rapport R3 sur la simulation de Streamer par le DDFV	30/12/2014 36	LAGA et LESP
3.			
	Rapport R4 sur les expérimentations en physique des plasmas	30/12/2013 24	
4.			
	Rapport R5 sur les estimateurs d'erreur pour le schéma VF-Mixte	30/12/2012 12	LAGA
	Rapport R6 sur les estimateurs d'erreur pour le schéma DDFV	30/12/2012 12	CEA
5.			
	Rapport R7 sur la simulation en milieux poreux par V F-Mixte	30/12/2013 24	LAGA
	Rapport R8 sur la simulation en milieux poreux par DDFV	30/12/2014 36	CEA
6.			
	Rapport R9 sur les estimateurs d'erreur pour le schéma VFEF	30/12/2012 12	LMAP
	Rapport R10 sur la simulation en milieux poreux par VFEF	30/12/2013 24	LMAP
7.			
	Rapport R11a sur Saint-Venant Monocouche 1D avec transport de sédiments	30/06/2012 6	LAGA
	Rapport R11b sur Saint-Venant Multicouche 1D avec échange de masse	30/06/2012 6	LAGA
8.			

	Rapport R12 sur les modèles 1D de Saint-Venant Multicouches sans échange de masse et avec transport de sédiments	30/12/2012 12	LAGA
	Rapport R13 sur les modèles 2D de Saint-Venant Multicouches sans échange de masse et avec transport de sédiments	30/12/2013 24	LAGA
9.			
	Rapport R14 sur le schéma VFC pour les modèles 1D de Saint-Venant Multicouches avec échange de masse et transport de sédiments	30/12/2012 12	LAGA
	Rapport R14 sur le schéma VFC pour les modèles 2D de Saint-Venant Multicouches avec échange de masse et transport de sédiments	30/12/2013 24	LAGA

4. STRATÉGIE DE VALORISATION, DE PROTECTION ET D'EXPLOITATION DES RÉSULTATS / DISSEMINATION AND EXPLOITATION OF RESULTS, INTELLECTUAL PROPERTY

Les résultats de ce projet seront valorisés par la publications de plusieurs articles et par des communications dans des conférences internationales.

Les retombées scientifiques du projet consisteront d'une part en des avancées dans la compréhension des schémas numériques volumes finis et l'analyse des erreurs a posteriori, la constitution d'un outil général de simulation numérique 3D de phénomènes complexes, intégrant des schémas parmi les plus récents, avec une adaptation de maillage basée sur des critères mathématiques. D'autre part, le projet permettra une en compréhension accrue des phénomènes considérés.

Pour la physique des plasmas des simulation numériques 3D capturant les phénomène de ramifications seraient une première. De même dans le domaine des écoulements en milieux poreux, des simulations numériques adaptative en 3D permettraient une avancée certaine dans le domaine. Enfin, des simulation numériques de modèles d'écoulements océanographiques via les modèles multicouches permettraient de comprendre des phénomènes de grand intérêt tels que les problèmes d'ensablement ou les comportements de courants d'eau à densité variable, avec par exemple les effets sur les déplacement de bancs de poissons.

5. DESCRIPTION DU PARTENARIAT / CONSORTIUM DESCRIPTION

5.1. DESCRIPTION, ADÉQUATION ET COMPLÉMENTARITÉ DES PARTENAIRES / PARTNERS DESCRIPTION AND RELEVANCE, COMPLEMENTARITY

Partenair 1: le LAGA (Université Paris 13)

Le laboratoire LAGA dispose d'une bonne expérience en développement, analyse et implémentation de schémas numériques pour systèmes hyperboliques, ainsi que dans l'utilisation des maillages adaptatifs pour la résolution de problèmes à fronts raides (en 2D). En particulier les 3 dernières années des simulations de propagation de fronts de saturation dans les écoulements en milieux poreux ont été réalisées. Et au cours de l'année dernière une simulation de problème de propagation de streamer dans le cas bidimensionnel a également été un succès. On s'intéresse dorénavant aux simulations 3D.

La collaboration avec les partenaires du projets permettra de disposer de modèles physiques fiables (LSPM, LMAP), et de bénéficier de leurs expériences dans le développement et l'analyse de schéma volumes finis pour le traitement des termes de diffusion (CEA, LMAP).

Partenaire 2: le LSPM-CNRS

Le laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (ex LIMHP) est un laboratoire reconnu pour la physique des plasmas et dispose d'une très bonne expérience dans le développement de modèles physique, leur simulation 1D et la réalisation d'expériences de laboratoire dans cette thématique.

La collaboration du LSPM dans ce projet lui permettra de disposer d'un code d'abord 2D, ensuite 3D, ayant l'ambition de réaliser des expériences de propagation de streamer avec apparition de ramifications filamentaires 3D. Ce code permettra en outre de mener des étude sur le problème de dépollution.

Partenaire 3: le LMAP

Le laboratoire est associé au CNRS en tant que UMR 5142 et a pour vocation première l'analyse et la simulation numérique de problèmes posés par l'Industrie Pétrolière. Cette spécialisation est naturelle de par la localisation à Pau du centre de recherche de la société Total. Le laboratoire s'intéresse aussi aux problématiques environnementales.

Le LMAP, dispose d'une très longue expérience dans le domaine de la modélisation, l'homogénéisation, et le développement de schémas numériques pour la simulation de phénomènes d'écoulements dans les milieux poreux. En particulier, un modèle basé sur la pression globale, a été développé très récemment por le traitement du problème difficile d'écoulement eau-gaz. Précisons en outre que les systèmes d'équation modélisant les écoulement en milieux poreux sont proches de ceux intervenant en physique des plasmas.

La participation du LMAP au projet amènera cette expérience aux partenaires et lui permettra de disposer d'un plateforme d'abord 2D, ensuite 3D, avec adaptation de maillage, pour le calcul des solutions des problèmes d'écoulements en milieux poreux.

Partenaire 4: le CEA

Le laboratoire CEA/DM2S/SFME/LSET a une longue expérience du calcul scientifique appliqué à la simulation dans les milieux poreux, notamment en ce qui concerne la conception et l'implémentation de schémas numériques de type volumes finis. Un effort important y est en cours de déploiement pour l'optimisation de ces calculs via le raffinement adaptatif basé sur l'estimation a posteriori.

La mise en commun de l'expertise du CEA/DM2S/SFME/LSET sur les schémas de type DDFV avec les connaissances développées par les autres membres du projet sur d'autres types de schémas et sur leur mise en oeuvre dans une plateforme adaptative sera source d'un enrichissement mutuel des partenaires.

5.2. QUALIFICATION DU COORDINATEUR DE LA PROPOSITION DE PROJET/ QUALIFICATION OF THE PROPOSAL COORDINATOR

Fayssal Benkhaldoun, coordinateur du projet blanc ANR ADAPT, dispose d'une bonne expérience en terme d'organisation de projets.

Ainsi il est actuellement co-responsable avec Hervé Guillard de l'Inria Sophia-Antipolis d'un programme de collaboration internationale. Le programme Euro-Med 3+3 'Mhycof' accepté en 2009 pour 3 ans. Il a dans ce cadre organisé une école d'été workshop sur la thématique d'interaction eau-particules (<http://www.math.univ-paris13.fr/~fayssal/MeNHydro-eng/>).

Il a été en outre co-responsable de plusieurs programmes de collaborations internationales (AUF, PHC, ERASMUS).

Par ailleurs, M. Benkhaldoun est initiateur et plusieurs fois coorganisateur d'une série de symposiums internationaux sur la méthode des volumes finis (FVCA).

5.3. QUALIFICATION, RÔLE ET IMPLICATION DES PARTICIPANTS / QUALIFICATION AND CONTRIBUTION OF EACH PARTNER

Partenaire / partner	Nom / Name	Prénom / First name	Emploi actuel / Position	Discipline / Field of research	Personne.mois* / Person.month	Rôle/Responsabilité dans la proposition de projet/ Contribution to the proposal 4 lignes max
Coordinateur / responsable	BENKHALDOUN	Fayssal	PU1	Analyse numérique	31	Coordination. Etude et élaboration de schémas numériques aux volumes finis pour systèmes hyperboliques et paraboliques-elliptiques.
UPPA	AMAZIANE	Brahim	MdC HC	Analyse numérique	16	Analyse des modèles d'écoulement en milieu poreux, Homogénéisation, élaboration de schémas numériques.
LAGA - Paris13	AUDUSSE	Emmanuel	MdC	Analyse numérique	9	Développement et Analyse des modèles multicouches pour Saint-Venant, élaboration de schémas numériques.
CNRS	BONNIN	Xavier	CR1	Physique des plasmas:	5	Analyse et conception de modèles en physique des plasmas.
CNRS	DUTEN	Xavier	MdC	Physique des plasmas	10	Expérimentations en physique des plasmas
CNRS	MICHAU	Armelle	IR 2	Physique des plasmas:	5	Modèles et simulations 1D en Physique des plasmas.
UPPA-CNRS	MILISIC	Pina	CR1	Analyse numérique	24	Analyse des modèles d'écoulement en milieu poreux, développement de schémas numériques.
CEA	OMNES	Pascal	CR1	Analyse numérique	9	Conception, analyse et étude d'erreurs de schémas volumes finis pour termes de diffusion.
CNRS	TOUCHARD	Sylvain	MdC	Physique des plasmas	7	Développement de modèles. En physique des plasmas
CNRS	VEGA	Arlette	IR 2	Physique des plasmas	7	Expérimentations en physique des plasmas
LAGA Paris13	SARI	Saida	Doctorant	Analyse numérique	18	Etude et mise en oeuvre de méthodes numériques pour le système de Saint Venant.

6. JUSTIFICATION SCIENTIFIQUE DES MOYENS DEMANDÉS / SCIENTIFIC JUSTIFICATION OF REQUESTED RESSOURCES

Tableau des demandes de financement des personnels non permanents du projet ADAPT			
Partenaire	Nature	Mois	Activité
LAGA	Doctorant	6	Etude du modèle Saint-Venant Multicouches sans échange de masse
LAGA	Post Doc	12	Implémentation du schéma VFM et simulations numériques
LAGA	CDD	6	Implémentation du schéma DDFV et simulations numériques
LSPM	Post Doc	12	Réalisation d'expérimentations en physique des plasmas
LMAP	Post Doc	12	Implémentation du schéma VFEF et simulations numériques
CEA	CDD	6	Analyse d'erreur a posteriori pour le schéma DDFV
Total		54	

6.1. PARTENAIRE 1 / PARTNER 1 : LAGA

1. Équipement / Equipment

Néant

2. Personnel / Staff

Pour la thèse en cotutelle de M. Izem nous demandons un financement à hauteur de 6 mois (temps de séjour en France) dans le cadre de ce projet ANR. M. Izem sera chargé de la mise en oeuvre au sein de la plateforme ADAPT de schéma volumes finis pour les systèmes Saint-Venant multicouches sans échange de masse.

Nous avons également besoin d'un post Doc (12 mois) pour la mise en oeuvre au sein d'ADAPT du schéma Volumes finis mixte. Celui-ci réalisera des simulations numériques à la fois pour la physique des plasmas et pour les écoulements en milieux poreux.

Enfin un CDD de 6 mois permettra la mise en oeuvre du schéma DDFV.

3. Prestation de service externe / Subcontracting

Néant

4. Missions / Travel

Participation a des rencontres entre les membres du projet (une par an en France)

Participation à des conférences conférences internationales (une à deux par année de projet) sur les 3 thématiques principales du projet ANR.

5. Dépenses justifiées sur une procédure de facturation interne / Costs justified by internal invoicies

Néant

6. Autres dépenses de fonctionnement / Other expenses

Participation aux moyens de calculs du laboratoire: achat de licences, achat de noeuds supplémentaire pour le cluster du Laga et maintenance.

6.2. PARTENAIRE 2 / PARTNER 2 : LSPM

Équipement / Equipment

L'acquisition d'un analyseur CO/CO2 et d'un oscilloscope permettra de procéder aux expérimentations.

Personnel / Staff

Le Post Doc de 12 mois recruté interviendra dans la réalisation des expérimentations en physiques des plasmas.

Prestation de service externe / Subcontracting

Néant

• Missions / Travel

Participation a des rencontres entre les membres du projet (une par an en France)

Participation à des conférences internationales sur la thématique de la physique des plasmas.

• Dépenses justifiées sur une procédure de facturation interne / Costs justified by internal invoicies

Néant

• Autres dépenses de fonctionnement / Other expenses

Consommable (gaz, etc.), maintenance des appareillages.

6.3. PARTENAIRE 3 / PARTNER 3 : LMAP

Équipement / Equipment

Néant

Personnel / Staff

Le Post-doctorant recruté aura la charge de mettre en oeuvre la méthode développée par l'équipe de Pau.

Prestation de service externe / Subcontracting

Néant

Missions / Travel

Participation a des rencontres entre les membres du projet (une par an en France)

Participation du Post-doctorant à une conférence internationale pour présenter les résultats obtenus.

Dépenses justifiées sur une procédure de facturation interne / Costs justified by internal invoicies

Néant

Autres dépenses de fonctionnement / Other expenses

Participation aux moyens de calculs du laboratoire. Achat de licences.

6.4. PARTENAIRE 4 / PARTNER 4 : CEA

Équipement / Equipment

Néant

Personnel / Staff

Le développement et la généralisation des travaux effectués par P. Omnes et A. Mahamane sur les estimations a posteriori pour le schéma DDFV demandent environ six mois d'étude; ceci sera mené à bien avec l'aide d'un stagiaire de niveau master 2 ou de dernière année d'école d'ingénieurs.

Prestation de service externe / Subcontracting

Néant

- *Missions / Travel*

Participation a des rencontres entre les membres du projet (une par an en France)

- *Dépenses justifiées sur une procédure de facturation interne / Costs justified by internal invoices*

Néant

- *Autres dépenses de fonctionnement / Other expenses*

Participation aux moyens de calculs du laboratoire

7. ANNEXES / ANNEXES

7.1. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES / REFERENCES

- [1] I. Aavatsmark, T. Barke, O. Boeand and T. Mannseth Discretization on unstructured grids for inhomogeneous anisotropic media part1 : Derivation of the methods, SIAM, Journal of scientific computing 19(5) (1998) 1700–1716.
- [2] R. Abgrall, B. Nkonga, R. Saurel Efficient numerical approximation of compressible multimaterial flow for unstructured meshes Comput. & Fluids 2003 32 (4) :571–605.
- [3] M. Afif, B. Amaziane, Convergence of finite volume schemes for degenerate convectiondiffusion equation arising in flow in porous media, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. (2002) 5265–5286.
- [4] Alcrudo F, Benkhaldoun, F. Exact Solutions to the Riemann Problem of the Shallow Water Equations with a Bottom Step. Comput. & Fluids 2001 30 :643–671.
- [5] E. Audusse, A multilayer Saint-Venant model, Discrete and Continuous Dynamical Systems, Series B, 2005, 5, no. 2, 189–214.
- [6] I. Babuska, T. Strouboulis, C.S. Updhyay, S.K. Gangaraj, A posteriori estimation and adaptive control of the pollution error in the h-version of finite-element method, Int. J. Numer. Methods Eng. 38 (1995) 4207–4235.
- [7] F. Benkhaldoun, Analysis and validation of a new finite volume scheme for conservation laws with source terms. FVCA, Hermes-Penton Eds 2002 3 pp. 253-260.

- [8] Benkhaldoun F, Elmahi I, Seaid M. Well-balanced finite volume schemes for pollutant transport by shallow water equations on unstructured meshes. *J. Comp. Physics* 2007 ; 226 :180–203.
- [9] Benkhaldoun F, Sahmim S., Seaid M. Solution of the Sediment Transport Equations Using A Finite Volume Method Based on Sign Matrix. *SIAM J. Sci. Comp* 2009 ; Vol. 31, No. 4 :2866–2889.
- [10] Benkhaldoun F, Seaid M. A simple finite volume method for the shallow water equations *Journal of Computational and Applied Mathematics* 2010 ; doi :10.1016/j.cam.2009.12.005.
- [11] Bermudez A, Vazquez M.E. Upwind methods for hyperbolic conservation laws with source terms. *Computers & Fluids* 1994 ; 23 :1049–1071.
- [12] M. J. Castro a,, J. A. Garcia-Rodriguez, J. M. Gonzalez-Vida, J. Macias, C. Pares a, M. E. Vazquez-Cendon, Numerical simulation of two-layer shallow water flows through channels with irregular geometry *J. Comput. Physics* 2004 ; 195 :202–235.
- [13] S. Celestin, Z. Bonaventura, B. Zeghondy, A. Bourdon and P. S´egur, *J. Phys. D : Appl. Phys.* ; 2009 42 (6)
- [14] G. Chavent, J. Jaffré, *Mathematical models and finite element for reservoir simulation*, North-Holland. 1986.
- [15] H. Conrads et M. Schmidt, *Plasma sources science and technology* ; 2000 9 : 441-454
- [16] Y. Coudière, J.P. Vila, P. Villedieu, Convergence rate of finite volume scheme for a two dimensional convection-diffusion problem, *M2AN*. 33 (1999) 493–516.
- [17] K. Domelevo and P. Omnes, A finite volume method for the laplace equation on almost arbitrary two-dimensional grids, *M2AN*. 30 (2005) 237–263.
- [18] J. Droniou and R. Eymard, A mixed finite volume scheme for anisotropic diffusion problem on an grid. *Numer. Math*, 105 (2006) 35–71.
- [19] O Eichwald, O Ducasse, D Dubois, A Abahazem, N Merbahi, M Benhenni and M Yousfi *J. Phys. D : Appl. Phys.* ; 2008 41 No 23 : 11p
- [20] Elmahi I, Benkhaldoun F, Borghi R, Raghay S, Ignition of fuel issuing from a porous cylinder located adjacent to a heated wall : A numerical study. *Combustion Theory and Modelling*. 2004 ; 8 : 789–809.
- [21] R. Eymard, T. Gallouët and R. Herbin, A new finite volume scheme for anisotropic diffusion problems on general grids : convergence analysis, *C. R. Acad. Sci.*, 344(6) (2007) 403–406.
- [22] R. Eymard, T. Gallouët and R. Herbin, Discretization of heterogeneous and anisotropic diffusion problems on general nonconforming meshes *SUSHI* : a scheme using stabilization and hybrid interfaces. *IMA J. of Num. Anal*, accepted (2009).
- [23] G. Gagneux, M. Madaune-Tort, *Analyse Mathématique de Modèles non Linéaires de l'Ingénierie Pétrolière*, Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- [24] L. Gosse and A.Y. Le Roux Un schéma équilibre adapté aux lois de conservation scalaires non homogènes *C. R. Acad. Sci. Paris, Série A* 1996 ; 323 :543–546.
- [25] J.M. Greenberg and A.Y. Le Roux A well-balanced scheme for the numerical processing of source terms in hyperbolic equations *SIAM J. Numer. Anal*. 1996 ; 33 :1–16.
- [26] K. Hassouni, F. Massines et J. Pouvesles, *Plasmas hors-équilibre à des pressions atmosphériques Plasmas froids : Génération, caractérisation et technologies*, Tome 1 - ISBN : 2-86272-340-1 2003 ;
- [27] O. A. Karakashian and F. Pascal, A posteriori error estimates for a discontinuous Galerkin approximation of second-order elliptic problems, *SIAM J. Numer. Ana*, 41(6), (2003) 23742399.
- [28] C. Le Potier, Schémas volumes finis monotones pour des opérateurs de diffusion fortement anisotropes sur des maillages de triangles non structurés, *C. R. Acad. Sci.*, I341, (2005).
- [29] A. Mahamane, *Analyse et estimation d'erreur en volumes finis, Application aux écoulements en milieu poreux et à l'adaptation de maillage*, Dissertation, Université Paris 13, 2009.
- [30] R. Morrow *J. Appl. Phys.* (1988 ; 63 : 5171
- [31] *Non thermal plasma techniques for pollution control Part A and B*, NATO ASI series, Eds. B. M. Penetrante et S. E. Shultheis, Springer, Berlin 1993 ;
- [32] Sahmim S, Benkhaldoun F, Alcrudo F, A Sign Matrix Based Scheme for Quasi- Hyperbolic Non-Homogeneous PDEs with an Analysis of the Convergence Stagnation Problem. *J. Comput. Physics* 2007 ; 226 :1753–1783.
- [33] M. Vohralík, Two types of guaranteed (and robust) a posteriori estimates for finite volume methods, *Finite Volumes for Complex Applications* 2008.
- [34] Z. Cao, G. Pender, and P. Carling, Shallow water hydrodynamic models for hyperconcentrated sediment-laden floods over erodible bed *Advanced in Water Resources* 2005 ; 226 :546-557.

7.2. BIOGRAPHIES / CV, RESUME

LAGA-Université Paris 13

Nom, prénom, âge, cursus, situation actuelle:

BENKHALDOUN, Fayssal, <http://www.math.univ-paris13.fr/~fayssal/>, 48, received a master of science in numerical analysis and scientific computing from the University Nice (1984), a PhD in applied mathematics from the University Nice (1988) and the 'habilitation à diriger des recherches' from the University of Rouen (1998).

Currently Professor in mathematical modeling, numerical analysis and scientific computing at the University Paris 13.

Liste des cinq publications (ou brevets) les plus significatives des cinq dernières années:

1. F. Benkhaldoun, J. Fort, K. Hassouni, J. Karel, "Numerical Solution of 2D Streamer Propagation by Finite Volume Method on Unstructured Grid". submitted to App. Math. Comp.
2. E. Audusse, F. Benkhaldoun, J. Sainte-Marie, M. Seaid, "Multilayer Saint-Venant Equations over Movable Beds", accepted in DCDS-B, (2011)
3. A. Mahamane, F. Benkhaldoun, O. Diallo, "Simulation numérique par volumes finis d'un écoulement diphasique eau-pétrole en milieu poreux". (French) [Numerical finite volume simulation of two-phase (oil-water) flow in porous media] Afrika Math. (3) 20 (2009), 85—103
4. F. Benkhaldoun, S. Sahmim, M. Seaid, "Solution of the Sediment Transport Equations Using A Finite Volume Method Based on Sign Matrix", (2009), SIAM J. Sci. Comp, Vol. 31, No. 4, pp. 2866–2889.
5. S. Sahmim, F. Benkhaldoun and F. Alcrudo, "A sign matrix based scheme for non-homogeneous PDE's with an analysis of the convergence stagnation phenomenon", J. Comput. Phys., Volume 226, Issue 2, (2007), pp 1753-1783.

Nombre total de publications dans les revues internationales: 30 et actes de congrès à comité de lecture: 27

Nom, prénom, âge, cursus, situation actuelle: AUDUSSE, Emmanuel, 35 years old, received an engineering degree from Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (1999) and a PhD in Applied Mathematics from University Paris 6 (2004), Currently Associate Professor at University Paris Nord (Laboratoire Analyse, Géométrie et Applications)

Autres expériences professionnelles:

Researcher at Berlin Free University, Germany (2004-2005).

Liste des cinq publications (ou brevets) les plus significatives des cinq dernières années:

- 1.E. Audusse, F. Benkhaldoun, J. Sainte-Marie, M. Seaid, Multilayer Saint-Venant Equations over Movable Beds, accepted for publication in DCDS-B, (2011).
- 2.E. Audusse, M.O. Bristeau, B. Perthame, J. Sainte-Marie, A multilayer Saint-Venant system with mass exchanges for Shallow Water flows. Derivation and Numerical Validation. M2AN, Published on line, DOI: 10.1051/m2an/2010036, 2010.
- 3.Audusse E., Dreyfuss P., Merlet B., Schwartz Wave Form Relaxation for Primitive Equations of the Ocean, SIAM J. Sci. Comput., Vol 32, pp 2908-2936, 2010

4. Audusse E. and Klein R. and Owinoh A.Z., Conservative Discretization of Coriolis Force, Journal of Computational Physics, Vol. 228, pp. 2934-2950, 2009.

5. Audusse E., Bristeau M., Decoene A., Numerical simulations of 3D free surface flows by a multilayer Saint-Venant model, International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 56, pp 331-350, 2007.

Nombre total de publications dans les revues internationales: 11

LESP-CNRS

Nom, prénom, âge, cursus, situation actuelle: DUTEN, Xavier, 37 ans, Professeur des Universités.

Autres expériences professionnelles: Doctorat de l'Université Paris Sud Orsay, spécialité Physique des Plasmas (2000), séjour post-doctoral au « High Temperature Gas Dynamics Laboratory » de l'Université de Stanford, Californie (2000-2001).

Liste des cinq publications (ou brevets) les plus significatives des cinq dernières années:

1. N. Aggadi, X. Duten, Ph. Marteau, M. Redolfi, K. Hassouni « n-hexane soot oxidation in N₂/O₂ and N₂/O₂/NO₂ atmospheric pressure pulsed corona discharges », Eur. Phys. J. Appl. Phys. 36, 165-175 (2006).
2. O. Brinza, J. Achard, F. Silva, X. Duten, A. Michau, K. Hassouni, A. Gicquel "Improvement of energetic efficiency for homoepitaxial diamond growth in a H₂/CH₄ pulsed discharge", physica status solidi (a), Volume 204, Issue 9, September 2007, Pages: 2847-2853
3. F. Benedic, X. Duten, O. Syll, G. Lombardi, K. Hassouni, and A. Gicquel, "Spectroscopic Diagnostics of Pulsed Microwave Plasmas used for Nanocrystalline Diamond Growth", Chem. Vap. Deposition, 14, 173–180, 2008.
4. M. Redolfi, N. Aggadi, X. Duten, S. Touchard, S. Pasquiers and K. Hassouni, « Oxidation of acetylene in atmospheric Pressure Pulsed Corona Discharge Cell working in the nanosecond regime », Plasma Chemistry and Plasma Processing, vol. 29, no. 3, pp. 173-195, 2009
5. N. Aggadi, M. Redolfi, X. Duten, A. Michau, K. Hassouni "Investigation of discharge dynamic and chemical kinetics in the microdischarges generated in a multipin-to-plane pulsed N₂/O₂ corona system working in the nanosecond regime", Plasma Process. Polym, 6, 347–359, 2009.

Nombre total de publications dans les revues internationales: 25

et actes de congrès à comité de lecture: 53

LMAP-UPPA

Nom, prénom, âge, cursus, situation actuelle:

AMAZIANE, Brahim, 49, received a master of science in numerical analysis and scientific computing from the University Lyon 1 (1984), a PhD in applied mathematics from the University Lyon 1 (1988) and the 'habilitation à diriger des recherches' from the University of Pau (2005).

Currently Associate Professor in mathematical modeling, numerical analysis and scientific computing at the University of Pau.

Liste des cinq publications (ou brevets) les plus significatives des cinq dernières années:

1. AMAZIANE, B. ; ANTONTSEV, S. ; PANKRATOV, L. ; PIATNITSKI, A. Homogenization of compressible immiscible two-phase flow in porous media: application to gas migration in a nuclear waste repository. *SIAM J. Multiscale Modeling and Simulation*, 8 (5), 2023–2047, 2010.
2. AFIF, M. ; AMAZIANE, B. ; KUNERT, G. ; MGHAZLI, Z. ; NICAISE, S. A Posteriori error estimation for a finite volume discretization on anisotropic meshe. *Journal of Scientific Computing*. Vol. 43, No 2, p 183-200, 2010.
3. AMAZIANE, B. ; JURAK, M. ; ZGALJIC-KEKO, A. Modeling and numerical simulations of immiscible compressible two-phase flow in porous media by the concept of global pressure, *J. Transport in Porous Media*. Vol. 84, p 133-152, 2010.
4. B. Amaziane, A. Bergam, M. El Ossmani, Z. Mghazli. A posteriori estimators for vertex centred finite volume discretization of a convection-diffusion-reaction equation arising in flow in porous media. *Int. J. Numer. Meth. Fluids* 59:259--284, 2009.
5. B. Amaziane, M. El Ossmani, C. Serres, Numerical modeling of the flow and transport of radionuclides in heterogeneous porous media, *Computational Geosciences* 12:437–449 , 2008.

Nombre total de publications dans les revues internationales: 45
 et actes de congrès à comité de lecture: 80

Nom, prénom, âge, cursus, situation actuelle: MILISIC, Josipa Pina, 36, received a master of science in applied mathematics from the University of Zagreb, Croatia (2003), a PhD in applied mathematics from the Johannes Gutenberg University of Mainz, Germany (2007).
 Currently Associate Researcher in numerical analysis and scientific computing at the University of Pau and CNRS.

Autres expériences professionnelles:

1999-2001 Teaching Assistant, University of Split, Croatia
 2001-2002 University Computing Center, University of Zagreb, Croatia
 2002-2003 Research and Teaching Assistant, University of Zagreb, Croatia
 2003-2007 Research Associate, University of Mainz, Germany
 2007-2009 Research and Teaching Assistant, University of Zagreb, Croatia
 2009-2010 Assistant Professor, University of Zagreb, Croatia

Liste des cinq publications (ou brevets) les plus significatives des cinq dernières années:

1. A. JUENGEL, J. P. MILISIC. A simplified quantum energy-transport model for semiconductors. *Nonlinear Analysis Series B: Real World Applications* 12 (2011), 1033-1046.
2. B. DUERING, D. MATTHES, J. P. MILISIC. A gradient flow scheme for nonlinear fourth order equations. *DCDS-B* 14 (2010), 935-959.
3. A. JUENGEL, J. P. MILISIC. A sixth-order nonlinear parabolic equation for quantum systems. *SIAM J. Math. Anal.* 4 (2009), 1472-1490.
4. A. JUENGEL, J. P. MILISIC. Physical and numerical viscosity for quantum hydrodynamics. *Commun. Math. Sci.* 5 (2007), 447-471.
5. A. JUENGEL, D. MATTHES, J. P. MILISIC. Derivation of new quantum hydrodynamic equations using entropy minimization. *SIAM J. Appl. Math.* 67 (2006), 46-68

Nombre total de publications dans les revues internationales: 7

et actes de congrès à comité de lecture: 8

CEA

Nom, prénom, âge, cursus, situation actuelle: Omnes, Pascal, 38, received an engineering degree from the Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées, Paris (1994), a master of science in numerical analysis and scientific computing from Université Paris 6 (1994), a PhD in applied mathematics from University Toulouse 3 (1999) and the 'habilitation à diriger des recherches' from University Paris 13 (2010).

Currently research engineer in numerical analysis and scientific computing at the French atomic energy commission (CEA Saclay) and associated professor in applied mathematics at the University Paris 13.

Autres expériences professionnelles: Researcher at the Forschungszentrum Karlsruhe, Germany (1997-1998). Teaching assistant at the Ecole Centrale Paris (1999-2001) and at the Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées (1999-2007).

Liste des cinq publications (ou brevets) les plus significatives des cinq dernières années:

1. P. Omnes, On the second-order convergence of a function reconstructed from finite volume approximations of the Laplace equation on Delaunay-Voronoi meshes. *Math. Model. Numer. Anal.*, in press, 2010. DOI: 10.1051/m2an/2010068
2. L. Halpern, C. Japhet and P. Omnes, Nonconforming in time domain decomposition method for porous media applications. Fifth European Conference on Computational Fluid Dynamics ECCOMAS CFD 2010, Lisbon, Portugal, 14--17 June 2010, 17 pages.
3. P. Omnes, Y. Penel and Y. Rosenbaum, A posteriori error estimation for the discrete duality finite volume discretization of the Laplace equation. *SIAM J. Numer. Anal.*, 47, pp. 2782--2807, 2009.
4. S. Delcourte, K. Domelevo and P. Omnes, A discrete duality finite volume approach to Hodge decomposition and div-curl problems on almost arbitrary two-dimensional meshes. *SIAM J. Numer. Anal.*, 45, pp. 1142--1174, 2007.
5. K. Domelevo and P. Omnes, A finite volume method for the Laplace equation on almost arbitrary two-dimensional grids, *Math. Model. Numer. Anal.*, 39, pp. 1203--1249, 2005.

Nombre total de publications dans les revues internationales: 12

et actes de congrès à comité de lecture: 10

7.3. IMPLICATION DES PERSONNES DANS D'AUTRES CONTRATS / STAFF INVOLVEMENT IN OTHER CONTRACTS

Part.	Nom de la personne participant au projet / name	Personne . Mois / PM	Intitulé de l'appel à projets, source de financement, montant attribué / Project name, financing institution, grant allocated	Titre du projet : Project title	Nom du coordinateur / coordinator name	Date début & Date fin / Start and end dates
N° 2 LSPM	Armelle MICHAU	20 %	OSEO INNOVATION	Equipe		09/2009- 09/2012
		6 homme mois	ANR	CRWTH	X. Bonnin (LSPM)	09/2009- 09/2012
		20 %	ANR	Lagel	A. Kanaev (LSPM)	09/2009- 09/2012
		20%	CEA	V3580.001	X. Bonnin (LSPM)	09/2010- 09/2011

Part.	Nom de la personne participant au projet / name	Personne . Mois / PM	Intitulé de l'appel à projets, source de financement, montant attribué / Project name, financing institution, grant allocated	Titre du projet : Project title	Nom du coordinateur / coordinator name	Date début & Date fin / Start and end dates
N° 3 LMAP	Brahim AMAZIANE	6,2	Projet Européen : FP7 - Fission Euratom FORGE http://www.bgs.ac.uk/forge/	Treatment of Gas in Performance Assessment		01.01.2009 au 31.12.2012