



HAL
open science

ETUDE DES MATERIAUX ET DES STRUCTURES DISCONTINUES DU GENIE CIVIL Caractérisation spatiale, Comportement Mécanique, Modélisation

Marc Vinches

► **To cite this version:**

Marc Vinches. ETUDE DES MATERIAUX ET DES STRUCTURES DISCONTINUES DU GENIE CIVIL Caractérisation spatiale, Comportement Mécanique, Modélisation. Modélisation et simulation. Université Jean Monnet, Saint-Etienne, 2010. tel-01921304

HAL Id: tel-01921304

<https://hal.science/tel-01921304v1>

Submitted on 13 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Jean Monnet

Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches

Département Scientifique Pédagogique et Technologique:

Sciences de la Terre et de l'Univers, Espace.

**ETUDE DES MATERIAUX ET DES STRUCTURES
DISCONTINUES DU GENIE CIVIL**

Caractérisation spatiale, Comportement Mécanique, Modélisation

**Présenté par
Marc VINCHES**

Maître-Assistant des Ecoles des Mines

Date de soutenance : mercredi 3 février 2010

Composition du jury :

Rapporteurs :

Véronique MERRIEN-SOUKATCHOFF,	Professeur,	Ecole des Mines de Nancy
Claude BOHATIER,	Professeur,	Université de Montpellier II
Jean-Pierre MAGNAN,	Professeur,	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Examineurs :

Emmanuel LERICHE,	Professeur,	Université Jean-Monnet
Jack-Pierre PIGUET,	Professeur,	Ecole des Mines de Nancy

Directeur de recherche:

Bernard GUY,	Professeur,	Ecole des Mines de Saint-Etienne
--------------	-------------	----------------------------------

*« Au moment où l'on fait un calcul, on a déjà choisi un modèle :
à ce moment là, la responsabilité est prise. »*

Jean-Jacques MOREAU, 18 novembre 2003.

Séminaire jubilaire à l'occasion de ses 80 ans,
organisé par l'Université Montpellier II.

*A ma famille,
A mes parents,*

SOMMAIRE

Liste des figures	5
Nota bene.....	8
Eléments de contexte	9
Caractérisation des discontinuités	11
A l'échelle locale.....	11
Caractérisation locale de discontinuités : leur distribution dans les matériaux.....	11
Caractérisation locale de discontinuités de roches : analyse de la géométrie de la discontinuité elle-même.	17
A l'échelle globale : massif, gisement	18
Caractérisation de discontinuités dans des massifs rocheux fracturés :	18
Statistiques sur les discontinuités géométriques, et analyse hydro-mécanique	23
Caractérisation de discontinuités temporelles dans des gisements de déchets :	26
Caractérisation de discontinuités spatiales dans des gisements de minéraux industriels	27
Caractérisation spatio-temporelle d'évènements pluvieux :	32
Etude du comportement mécanique de milieux discontinus :	35
Traitement de discontinuités de matériaux dans le cadre de la MMC	35
Modélisation du comportement thermo-mécanique en régime transitoire de structures de génie civil. Traitement par modèles éléments finis 3D.....	35
Modélisation du comportement différé d'assemblages multi-matériaux de structures continues tridimensionnelles : polymères, béton armé et précontraint	35
Comportement de structures maçonnées : comparaisons de résultats mécaniques obtenus sur des modèles éléments finis avec homogénéisation et par éléments distincts, en 2D.	36
Traitement de discontinuités de géométries, dans le cadre des Méthodes de Blocs	37
Premiers travaux sur la Méthode des Eléments Distincts (approche DEM de Cundall)..	37
Comparaison de diverses méthodes par éléments discrets : DEM et NSCD.	38
Développements dans le cadre d'applications de la méthode NSCD	42
PERSPECTIVES :	51
REFERENCES :.....	54

ANNEXES	56
ANNEXE A : LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS	56
1. Revue internationale à comité de lecture : 7 articles publiés, 1 soumis	56
8 . Rapports scientifiques (10).....	60
ANNEXE B: LISTE DES THESES ENCADREES	61
ANNEXE C: ACTIVITES PEDAGOGIQUES	65
Enseignements de première formation	65
Enseignements de formation continue aux salariés en entreprises et administrations	66
Activités de responsabilité pédagogique	67
Encadrement de travaux d'élèves.....	70
ANNEXE D: ACTIVITES D'ANIMATION D'EQUIPE, ACTIVITES COLLECTIVES, ET DIVERS.....	76
Animation d'équipe.....	76
Participation à des programmes de recherche internationaux	77
Actions d'animation et de transfert technologique auprès des industriels	78
Activités collectives, et divers.....	79
ANNEXE E: PUBLICATIONS A "FACTEUR D'IMPACT"	80

Liste des figures

- Figure 1: Evolution des courbes contraintes-déformation d'un béton, en fonction de la densité contrôlée de fissures artificielles. [Réf. 8-1]
- Figure 2: Exemple de variogrammes expérimentaux en niveaux de gris, obtenus à l'échelle des cristaux. Les deux portées sont significatives de l'épaisseur (section apparente) et de la longueur moyenne des cristaux d'andalousite. [TH-RIC-1], p. 127.
- Figure. 3: Exemple d'étude de la structuration d'images de bois, à diverses échelles d'observation, effet d'une régularisation en géostatistique minière. [RAM-2005]].
- Figure 4: Analyse de textures de bois : (a) Représentations de la couleur : repère L,a,b, (b) Représentations de la couleur : repère LCH, (c) image de bois scié, poncé, vernis, (d) exemple de structuration de l'image dans le repère (L,a,b): portée de 4 pixels : traits de sciage, 18 pixels : structure transverse du bois, 100 pixels : structure axiale du bois.(cf. Projet Long – département Ingénierie Mécanique et Matériaux, IMM-2006-2007, annexe C)
- Figure 5: Comportement mécanique d'une fracture de granite : Comparaison de la réponse de divers modèles de géométries de plots ([DUN-2000])
- Figure 6: Synthèse de la démarche de modélisation présentée au Congrès Mondial de l'ISRM d'Aix-la-Chapelle, [Réf. 4-1].
- Figure 7: Massif schisteux des Cauvines, Sainte-Cécile d'Andorges (a) familles de fractures et blocs-clés correspondants, (b) exemple d'analyse du comportement d'un bloc de type 101001, (c) modèle de la fissuration du massif 3D sur AutoCAD, (d) exemple de calcul de déplacements de blocs après transfert des géométries sur LMGC90. (d'après [VAL-2004]).
- Figure 8: Ravin du Pallat :(a) Regroupement des familles de fractures par la méthode spectrale,(b) Histogramme des espacements pour la famille 1. [Réf. 1.4]
- Figure 9: Semi variogrammes des densités de fractures sur des segments de 2 mètres, pour les familles 1 à 4, respectivement, après les regroupements effectués par analyse spectrale. [Réf. 1-4]
- Figure 10: Schématisation de la fracturation du site, sur une vue en élévation, et implantation des points de mesure. Site de Coaraze, (doc. P. FENART.)
- Figure 11: Schéma de mise en charge et vidange du site de Coaraze (doc. P. FENART.)
- Figure 12: Détail des dispositifs expérimentaux mis en œuvre. (doc. P.FENART)
- Figure 13: Exemples de réseaux. (a) Faible densité, faible longueur des joints tectoniques, et forte capacité d'arrêt sur les limites stratigraphiques (b) Faible densité, longueur importante des joints tectoniques, et forte capacité d'arrêt sur les limites stratigraphiques, (c) Forte densité, longueur importante des joints tectoniques, et forte capacité d'arrêt sur les limites stratigraphiques (d) Forte densité, longueur importante des joints tectoniques, et faible capacité d'arrêt sur les limites stratigraphiques. [Réf. 1-3]
- Figure 14: Structuration dans le temps de la teneur en imbrûlés de la production de deux « gisements » de déchets.

- Figure 15: Mise en évidence de structures gigognes de la teneur en andalousite, sur le gisement de Glomel, Côtes d'Armor. (a) Comparaison de variogrammes sur des images (supports) 10x10 cm, et 20x20 cm, noter les portées de l'ordre du mètre, (b) variogramme entre photos à grande distance, noter deux structures à 2 et 12 mètres.
- Figure 16: Exemple de variogrammes directionnels, sur la teneur en alumine. Gisement de Maudet.
- Figure 17: Distributions des lentilles de kaolins indurés dans deux secteurs Sud-Ouest et Nord-Est du gisement de Bois des Rentés
- Figure 18: Analyse en composantes principales des chimies sur les échantillons de deux exploitations distinctes : (a) ACP sur le Gisement de Bois des Rentés, (b) ACP sur le Gisement de Bois-Charles. [Réf. 4-8]
- Figure 19: Distribution des fréquences relatives des différentes classes de teneurs en alumine mesurées, pour divers codes industriels d'affectation des stocks, sur le gisement de Bois des Rentés.
- Figure 20: Etudes pour le SDIS 48 (2004) : (a) Zone d'étude de la haute vallée du Tarn, du Tarnon et de la Mimente. (b) calage de paramètres de transferts relations pluies – hauteurs de lames d'eau
- Figure 21: Bassin versant du Gardon d'Anduze, krigeage des précipitations. Ajustement du variogramme expérimental par un modèle sphérique, au pas de temps de 6 minutes.(d'après le rapport de stage de Master I, de Véronica Popa, annexe C)
- Figure 22: Etude de joints de pré-dalles précontraintes: (a) ensemble du modèle des pré-dalles seules, (b) flèche après coulage du béton frais sur étais, (c) détail d'une section du maillage volumique (d) exemple de contrainte principale dans le joint de pré-dalle [Réf. 8-5]
- Figure 23: Premier modèle 2D de l'aqueduc d'Arles, au Vallon des Arcs. [Réf. 4-2].
- Figure 23: Premier modèle 2D de l'aqueduc d'Arles, au Vallon des Arcs. [Réf. 4-2].
- Figure 24: Déplacement vertical du centre du mur de pierre, sous sollicitation sinusoïdale
- Figure 25: Visualisation de l'état de stabilité du mur, sous poids propre, $t=0$. a) Visualisation des contraintes volumiques, b) Visualisation des descentes de charge
- Figure 26: Visualisation de l'état d'instabilité du mur, sous sollicitation dynamique, à $t= 0,04$ secondes a) Visualisation des contraintes volumiques, b) Visualisation des descentes de charge
- Figure 27: Visualisation du nouvel état de stabilité du mur, sous poids propre, à $t = 4$ secondes. a) Visualisation des contraintes volumiques, b) Visualisation des descentes de charge
- Figure 28: Concept d'une cellule de déformation au voisinage d'un bloc rigide, et définition d'un tenseur de déformation associé [Réf. 4-5]
- Figure 29: Escalier de Ridolfi (architecte : prof. D'AMATO, université de Bari, Italie) escalier précontraint à la Foire de Vérone, 2005 (b) modèle sur LMGC90 [TH-PER-5,(2007)].
- Figure 30: Voûte plate, dessin de l'abbé Abeille, projet GAIA, Joël SAKAROVITCH et al. , Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, février 2008. modèle physique instrumenté de la dalle (b) modèle sur LMGC90 (A. Rafiee [TH-RAF-8,(2008)]
- Figure 31: Carrière de Souraïde, transfert de géométries de massifs rocheux. (a) modèle 2D transfert d'Autocad sur LMGC90, (b) modèle 3D (A. Rafiee [Réf. 4-19]).
- Figure 32: Déplacement horizontal en mètre pour le modèle 2D de la carrière de Souraïde, (a, b) à $t = 2$ secondes, respectivement pour le cas statique et pour le cas avec vibration sismique, (c, d) à $t = 4$ secondes, respectivement pour le cas statique et pour le cas avec vibration sismique, (e) graphe comparatif du nombre de contacts

glissants pour les cas statique et avec vibration sismique. ([TH-RAF-8,(2008)] Chapitre 5, Figure 5.17)

- Figure 33 : (a) Evolution de la fréquence relative des points de contact par rapport à l'indice de mobilisation pour les 4827 contacts surfaciques détectés, (b) répartition des pôles des surfaces de contact sur la projection hémisphérique supérieure pour des valeurs de l'indice de mobilisation supérieures à 0.9. [Réf. 4-21]
- Figure 34: Exemple de modèle sur le tunnel de Saint-Béat section 2D sans boulonnage (b) mise en place d'une densité moyenne de boulons [TH-RAF-8,(2008)]
- Figure 35: Modèle discret des étages supérieurs de l'amphithéâtre de Nîmes : distribution des forces verticales (en N) sur les blocs, (d'après [Réf. 1-5]).
- Figure 36: Modèle 3D rigide de l'amphithéâtre de Nîmes, sous sollicitation sinusoïdale (a) déplacement vertical après deux secondes, (b) déplacement dans la direction Y après deux secondes, (c) déplacement dans la direction Y après trois secondes (d'après [Réf. 1-5])
- Figure 37: Accélérogramme du tremblement de terre de Zanjiran : (a) accélération verticale du terrain, exprimée en g (9,81 m/s²), (b) vitesse verticale au sol (m/s), direction Z, (c) vitesse horizontale (m/s) dans la direction de X, horizontale perpendiculaire au plan de coupe (d) vitesse horizontale (m/s) dans la direction de Y, présentée Figure 36. [Réf. 1-5]
- Figure 38: Modèle 3D rigide, les déplacements verticaux (en mètre) à la suite de quatre secondes des vibrations sismiques réelle (a) au bout de quatre secondes, (b) vue rapprochée sur l'arche centrale (c) vue de dessus du piler central. (extrait de la thèse d'Ali Rafiee [TH-RAF-8, (2008)])
- Figure 39: Exemple de matériaux modèles : a) Détail de dépôt sur plan incliné d'un mélange de billes, b) Détail d'une section d'un dépôt gravitaire.
- Figure 40: Modèle d'un écoulement de sphères dans un four rotatif (document Ali RAFIEE)
- Figure 41: Modèle de comportement d'arches sous sollicitation sismique réaliste [Réf. 1-6]

Nota bene

L'annexe A présente la liste des publications et communications référencées dans le texte.

Les annexes B à D présentent, respectivement, les éléments les plus significatifs de mon activité professionnelle d'encadrement de doctorants, d'enseignement, et d'animation d'équipe.

L'annexe E reprend les publications à facteur d'impact déjà parues.

Éléments de contexte

Le présent mémoire a pour objet de présenter les travaux de recherche que j'ai réalisés depuis un peu plus d'une vingtaine d'années, pour l'essentiel à l'Ecole des Mines d'Alès.

Jean Salençon, au nom de l'Académie des Sciences, dans son discours de bienvenue au 9^e Congrès International de Mécanique des Roches, tenu à Paris, en 1999, disait ceci [SAL-1999] :

« A partir des circonstances dramatiques que l'on connaît, ces quelques quarante années ont été celles de l'éclosion, de la croissance et du développement de la nouvelle science et de ses applications. Il est frappant de constater comment la Mécanique des Roches a su s'approprier les acquis de la Mécanique des Milieux Continus. Ayant rapidement exploité les résultats classiques de l'élasticité linéarisée, elle a fait appel aux lois de comportement irréversibles, à l'endommagement, elle a construit ses propres modèles. Elle a aussi tiré le plus grand profit des grands codes de calcul (éléments finis, équations intégrales) sans en être prisonnière et en développant ses propres méthodes, telles que la méthode des blocs. Il faut dire, puisque l'époque veut que l'on se réfère au « marché », que la demande était et demeure forte. »

C'est dans le cadre de cette demande forte du marché, que mes recherches se sont orientées, dès mes travaux de thèse au BRGM, vers l'étude de la stabilité des massifs rocheux fracturés, et certaines « méthodes des blocs », rentrant dans le champ de la Mécanique des Roches.

Jean Salençon, lors de son intervention, avait pour Président de séance, Pierre Habib, qui écrivait dans son cours « Mécanique des Sols et des Roches » à l'Ecole des Mines de Paris [HAB- 1974] :

« Le sol est un matériau discontinu à l'échelle microscopique, mais le nombre de ses constituants est tel que le concept de continuité peut le plus souvent être conservé. Cependant la structure granulaire impose l'essentiel du comportement. Dans le sol les vides entre les grains définissent une porosité qui est remplie d'un fluide liquide ou gaz, eau ou air ...

Le comportement des roches est différent de celui des sols et il paraît moins simple du fait de la grande diversité des minéraux naturels mais aussi parce que la durée d'application des contraintes varie avec le mode de sollicitation, c'est-à-dire avec le type d'exploitation d'un édifice rocheux (tir en carrière, fondation de barrage, construction d'un tunnel, ...). ...

L'unité et l'originalité du comportement des roches proviennent de la fissuration de ces matériaux et du caractère discontinu des massifs rocheux qui explique la grande diversité des résistances des roches et des difficultés que l'on rencontre dans l'appréciation des propriétés mécaniques d'un massif.

Ces propriétés varient souvent en fonction de la direction : cette anisotropie est liée à celle de la fissuration et ne peut s'expliquer par celle des propriétés des cristaux élémentaires. »

C'est en particulier l'étude de la fracturation, et son influence sur la stabilité d'ouvrages souterrains, qui ont été au cœur de mes recherches au Bureau de Recherches Géologiques et Minières, puis à l'Ecole des Mines d'Alès.

Pour finir cette présentation de contexte, on pourra noter que le cours de Pierre Habib, n'est qu'une annexe, de celui de Science des Matériaux de J. Mandel, [MAN-1974] dont le tome I: Rhéologie, contenait en introduction à propos des propriétés mécaniques des matériaux, le paragraphe suivant :

« Il est bien évident que les propriétés macroscopiques d'un corps dépendent de sa structure intime. L'idéal serait d'arriver à les prévoir quantitativement en partant de l'échelle atomique. Ce n'est actuellement pas possible. En outre, malgré la diversité des structures, certaines propriétés communes se retrouvent. On ne saurait donc sous-estimer le point de vue global, autre mode d'approche dont l'utilisateur doit souvent se contenter. »

Cette approche globale très souvent utilisée par l'ingénieur en formation auquel s'adressait J. Mandel, peut apparaître partiellement insatisfaisante pour le chercheur. En mécanique, et en mécanique des roches plus particulièrement, les changements d'échelles m'ont particulièrement intéressé.

De ces éléments de contexte se déduit la présentation de mes activités de recherche, qui constitue l'essentiel de ce mémoire, et que l'on pourrait rassembler en deux thèmes, complémentaires :

- le premier thème concerne la mise en place et la validation d'une méthodologie de caractérisation de discontinuités, à l'échelle locale de la discontinuité elle-même, puis à celle globale du massif *in situ*, du réseau de discontinuités ou du gisement,

- le second thème consiste à développer de nouvelles approches du calcul de la stabilité mécanique d'ouvrages de génie civil. Des applications particulières ont été conduites sur des ouvrages d'intérêt patrimonial modélisés comme des milieux discontinus et sur des massifs rocheux. En complément à ces activités de recherche, j'ai effectué ou supervisé la mise en œuvre de modélisations plus ou moins classiques par la méthode des éléments finis pour l'étude de structures industrielles considérées comme continues, sous sollicitations complexes, qui ne seront qu'évoquées, du fait d'une confidentialité industrielle associée à ces études, et imposée par contrat.

En parallèle à ces activités de recherche, j'ai eu une activité de conseil et de transfert de technologie auprès des entreprises notamment sur la formulation et la caractérisation de matériaux à base de liants hydrauliques, pour l'industrie minière et le génie civil, une activité d'enseignement, avec des responsabilités d'animation d'une équipe d'enseignants, pendant neuf ans, et des responsabilités d'animation d'équipe de recherche.

Caractérisation des discontinuités

A l'échelle locale

Caractérisation locale de discontinuités : leur distribution dans les matériaux.

Discontinuités contrôlées dans les matériaux industriels

DEA : « Comportement à la rupture et structure des géomatériaux : cas des bétons en compression simple », directeur : Philippe WEBER, Ecole des Mines d'Alès.

A la suite des cours de DEA, cours de mécanique des roches, et de mécanique de la rupture, donnés respectivement par Edouard Tincelin, et François Cornet, à l'Ecole des Mines de Paris, fin 1985, c'est sur l'analyse du comportement de bétons en compression simple, que j'ai travaillé dans les laboratoires de l'Institut des Matériaux et des Gisements Miniers de l'Ecole des Mines d'Alès, sous la direction de Philippe Weber. Outre les formulations destinées à quantifier l'influence de diverses compositions de liants hydrauliques, et la distribution granulométrique des granulats, sur le comportement à la rupture de bétons en compression simple, j'ai confectionné un certain nombre d'échantillons dans lesquels ont été insérées, aussi régulièrement que possible, des billes sphériques de polystyrène expansé, d'1,5 mm de diamètre, et des « fractures en forme de disques » constituées de disques d'acétate de polyvinyle de 20 mm de diamètre, pour 0,1 mm d'épaisseur, dans des quantités variables, mesurées en nombre, ou en surfaces susceptibles d'amorcer une rupture, par unité de volume du matériau. Divers échantillons ont ainsi été constitués, avec des porosités fermées, simulées par des billes de polystyrène à raison de 7, 9, 13 et 26% du volume, et des surfaces de fractures pré-existantes de 51, 103, et 206 m²/m³ de matériau.

L'essentiel des résultats a été présenté, le 16 juin 1986, devant le jury composé de : messieurs Serge BASTIDE, Pierre BEREST, Michel DUCHENE, Jacques FINE, Sidi Mohammed TIJANI, Gérard VOUILLE, et Philippe WEBER, à l'Ecole des Mines de Paris.

Dans la conclusion, je proposais « une étude statistique sur la distribution des facies de rupture, en fonction de la taille des granulats, de la densité de fissures, ou de pores, et de la taille des échantillons ». J'initiais aussi une discussion sur les paramètres d'asservissement de l'essai de compression simple, sur la base de récentes publications.

Si l'on peut espérer contrôler, spécifier les caractéristiques de discontinuités introduites dans une formulation de matériaux industriels, en revanche, lorsque l'on s'intéresse à des matériaux naturels, les discontinuités qui y sont présentes sont des données auxquelles que l'on subit. C'est la caractérisation de ces discontinuités subies qui constitue l'essentiel de la section suivante.

Influence de la
densité de fissures

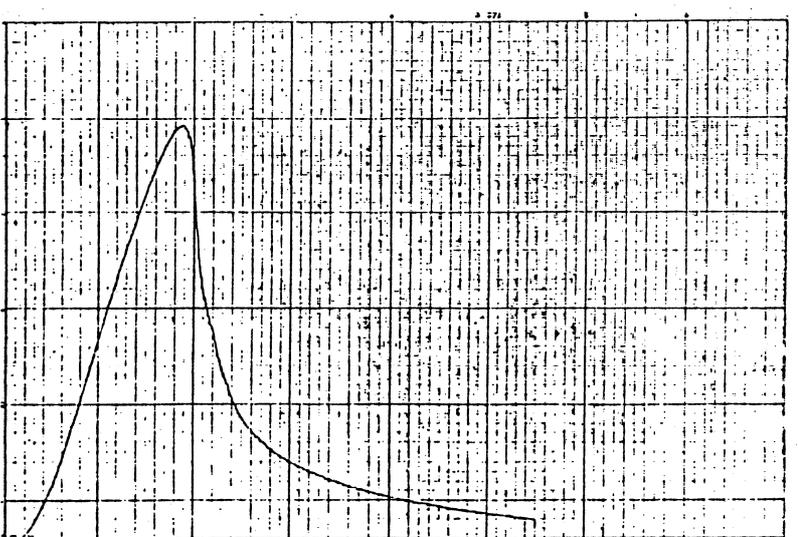
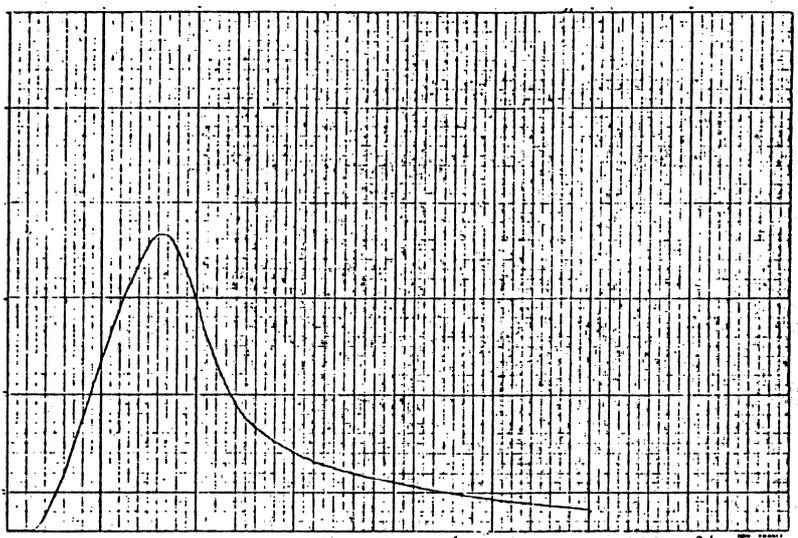
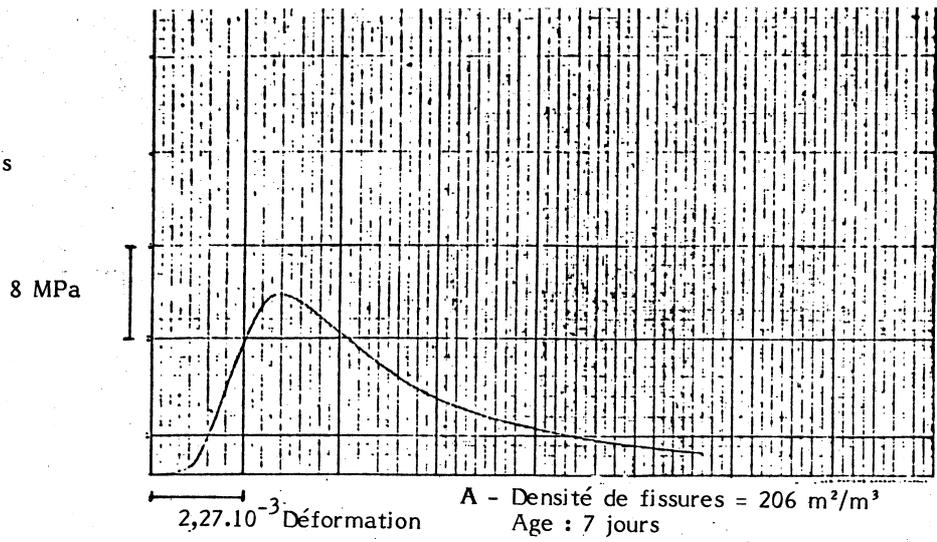


Figure 1 : Evolution des courbes contraintes-déformation d'un béton, en fonction de la densité contrôlée de fissures artificielles. [Réf. 8-1]

Discontinuités subies dans les matériaux naturels

Encadrement de la thèse de Nadine Ricard (soutenue le 20 mars 1995), suivi des travaux de Tahiana Ramananantoandro (soutenue le 4 juillet 2005),

Encadrement de travaux d'élèves ingénieurs (niveau Master1 et 2), contrats.

(La liste des thèses que j'ai encadrées est fournie en annexe B, celle des travaux d'élèves et autres encadrements en annexe C)

Seront évoqués successivement les travaux que j'ai réalisés sur des matériaux naturels (minéraux et organiques) concernant l'estimation par analyse d'images de la teneur en andalousite d'une roche, l'analyse de textures de marbres, puis de bois, avec, sur ce dernier cas, l'analyse du vieillissement de divers revêtements de surface.

Estimation de la teneur en andalousite d'un minerai :

L'objectif global du travail de thèse de Nadine Ricard était de mettre au point une nouvelle méthode d'estimation et de reconnaissance de l'andalousite, par analyse d'image, dans le gisement de Glomel (Côtes d'Armor). [Réf. TH-RIC-1]

Ce travail peut se décomposer en deux phases essentielles :

- l'estimation de la teneur en andalousite par analyse d'images,
- l'estimation de la teneur d'un front, et d'un gisement à l'aide de la géostatistique.

Seule la première phase de ce travail est présentée dans ce paragraphe, la seconde sera présentée dans la section ci-après qui traite des discontinuités à l'échelle globale d'un gisement.

La première phase consistait donc essentiellement à mettre au point des techniques de prises de vue, et des techniques de traitement d'image à partir d'opérations de morphologie mathématique, de façon à obtenir une teneur en andalousite. La page suivante, copie de la page 82 de la thèse, présente un exemple des techniques testées. L'obtention d'une teneur moyenne a été garantie avec une erreur comprise entre -0,2 et +2,2 % , dans des conditions correctes de prise de vue. La structuration d'une image en noir et blanc a pu être caractérisée, dans un premier temps par le calcul d'un variogramme, à l'échelle millimétrique.

Ma participation au travail a consisté en la mise au point de tests statistiques, le conseil et la critique sur les méthodes de prise de vue, et l'encadrement des travaux en géostatistique.

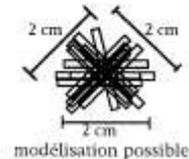
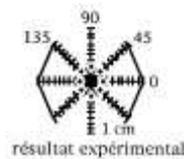
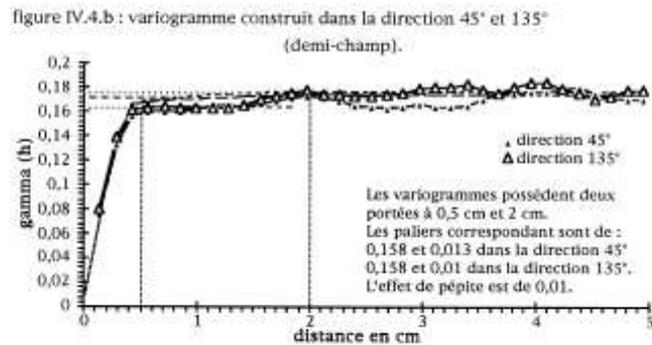
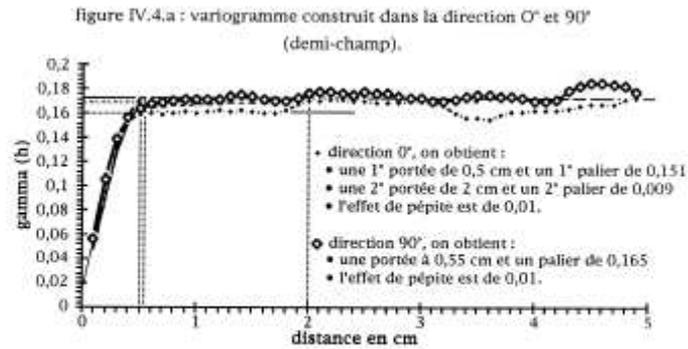


Figure 2 : Exemple de variogrammes expérimentaux en niveaux de gris, obtenus à l'échelle des cristaux. Les deux portées sont significatives de l'épaisseur (section apparente) et de la longueur moyenne des cristaux d'andalousite. [TH-RIC-1], p. 127, (1995).

Marbres : analyse de textures

L'analyse d'image, liée à la morphologie mathématique, et historiquement à la géostatistique, au moins en France, à la suite des travaux de Georges Matheron, m'a conduit à proposer à des élèves ingénieurs de l'Ecole des Mines différents projets longs (proches dans l'esprit de projets de Master 1) en initiation à la recherche.

Ces projets ont consisté en l'analyse de structures d'images couleur, avec un certain nombre d'applications d'opérations classiques en analyse d'image : seuillages en divers niveaux de gris, dilations et érosions, calculs de covariances sur des images en noir et blanc, de façon à identifier diverses structures, et orientations de structures.

Les opérations conduites sur ces structurations d'images couleur doivent pouvoir être partiellement transposées à l'analyse de phénomènes pluvieux, sur des cartes de réflectivité radar, dans le cadre d'analyse de la structuration spatiale d'événements pluvieux.

Bois : analyse de textures et de vieillissement

J'ai encadré divers travaux de recherche sur la caractérisation spatiale de textures de bois, dans le cadre de la thèse de Tahiana Ramananantoandro, soutenue en 2005, puis de travaux d'élèves de l'Ecole des Mines, en encadrant un « projet long » (PL) du département Ingénierie Mécanique et Matériau (IMM).

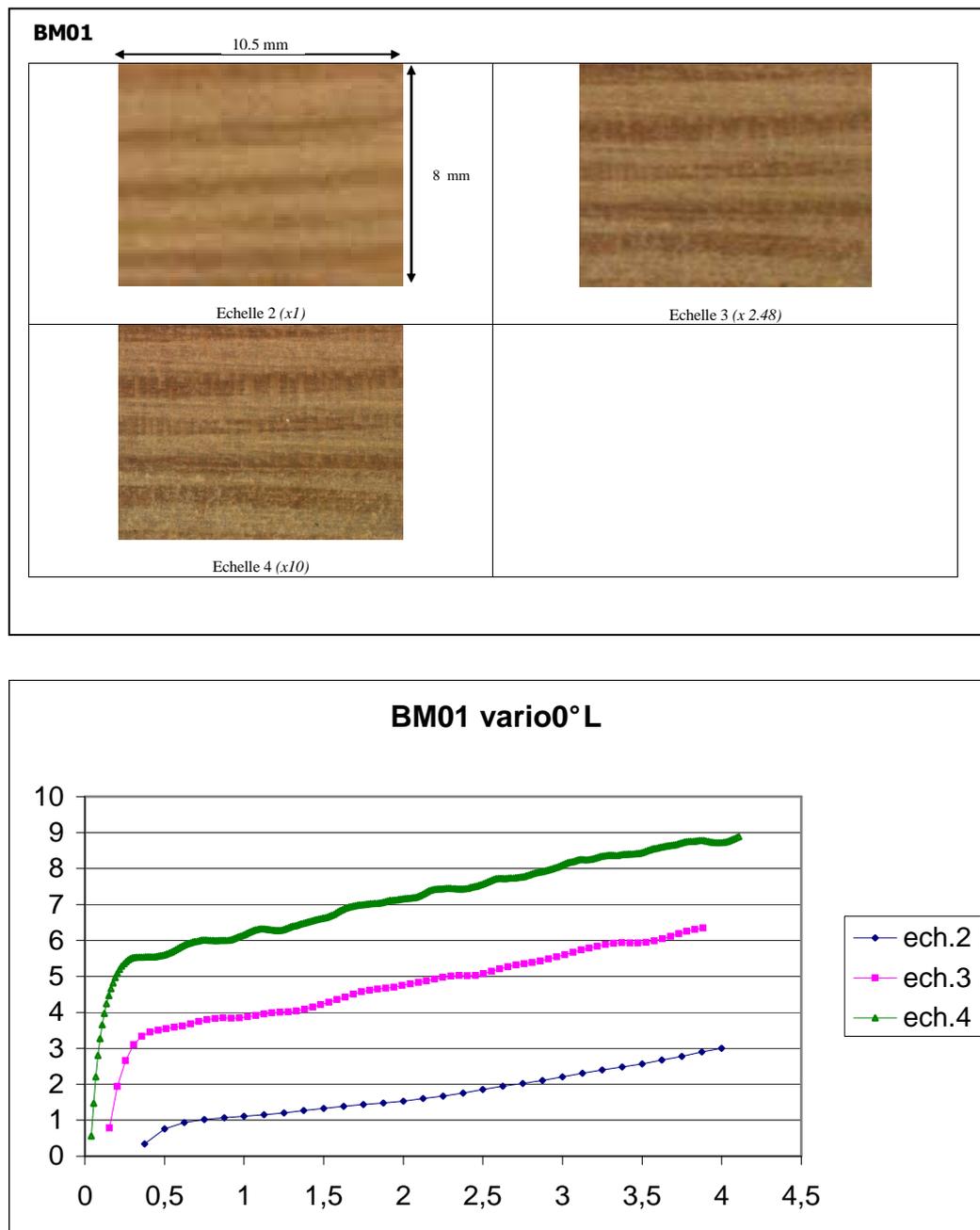


Figure 3 : Exemple d'étude de la structuration d'images de bois, à diverses échelles d'observation, effet d'une régularisation en géostatistique minière. (Thèse de Tahiana Ramananantoandro, [RAM - 2005]).

Une des étapes du travail était la caractérisation à partir des variogrammes expérimentaux des structurations visibles de variables liées aux pixels d'images de bois, correspondants à différentes distances d'observation. Les études ont été essentiellement menées, alors, à partir de 2002, dans l'espace (L,a,b).

Une poursuite des travaux de structuration spatiale d'images couleurs a été réalisée, en lien avec des enseignants-chercheurs de l'équipe Propriétés Psycho-Sensorielles des Matériaux de CMGD, équipe 2PSM, à l'occasion de contrats industriels, de nature confidentielle, et de travaux d'élèves à caractère plus de recherche et prospectifs. J'ai mis au point, avec les élèves, divers modèles de calage de variogrammes expérimentaux pour diverses essences de bois, avec des états de surface différents.

La mesure du vieillissement de matériaux de revêtement ou d'imprégnation a été réalisée, de même que l'ajustement de variogrammes expérimentaux par des modèles de variogrammes « autorisés ». L'intérêt industriel du passage de l'espace de représentation (L,a,b) à l'espace (L,C,H) a été démontré [Réf. Projet Long – IMM- 2006-2007, annexe C]

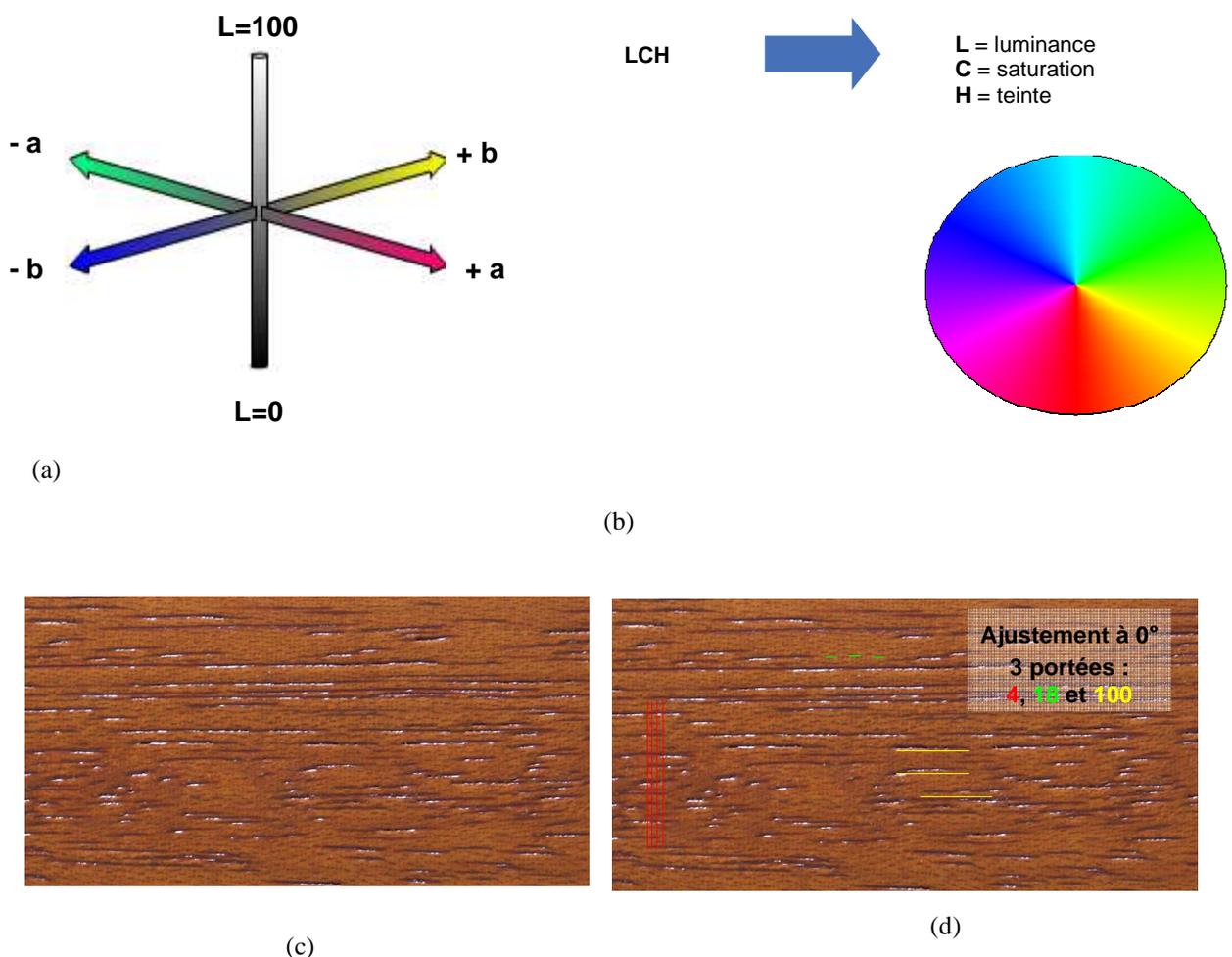


Figure 4 : Analyse de textures de bois

(a) Représentations de la couleur : repère L,a,b, (b) Représentations de la couleur : repère LCH, (c) image de bois scié, poncé, vernis, (d) exemple de structuration de l'image dans le repère (L,a,b): portée de 4 pixels : traits de sciage, 18 pixels : structure transverse du bois, 100 pixels : structure axiale du bois. [Réf. PL-IMM-2006-2007, annexe C]

Caractérisation locale de discontinuités de roches : analyse de la géométrie de la discontinuité elle-même.

Travaux de recherche de Xavier Dunat, à l'Ecole des Mines d'Alès, 1997-2000.

Sous la direction de Jean-Pierre Henry, directeur de thèse, j'ai été l'encadrant de proximité de Xavier DUNAT, sur la caractérisation et la modélisation de la géométrie de discontinuités rocheuses, à l'échelle de la fracture elle-même. J'ai participé à la validation de paramètres des diverses distributions statistiques des hauteurs de plots considérées, et aux réflexions concernant l'adaptation des différents modèles aux jeux de données expérimentales disponibles sur divers types de roches : granites, schistes, grès. J'ai notamment pu guider les premiers travaux de Xavier sur la recherche bibliographique à faire, à partir des travaux réalisés par Sylvie Gentier, Fabrice Gervais et divers autres chercheurs au BRGM, sous la direction de Bernard Feuga.

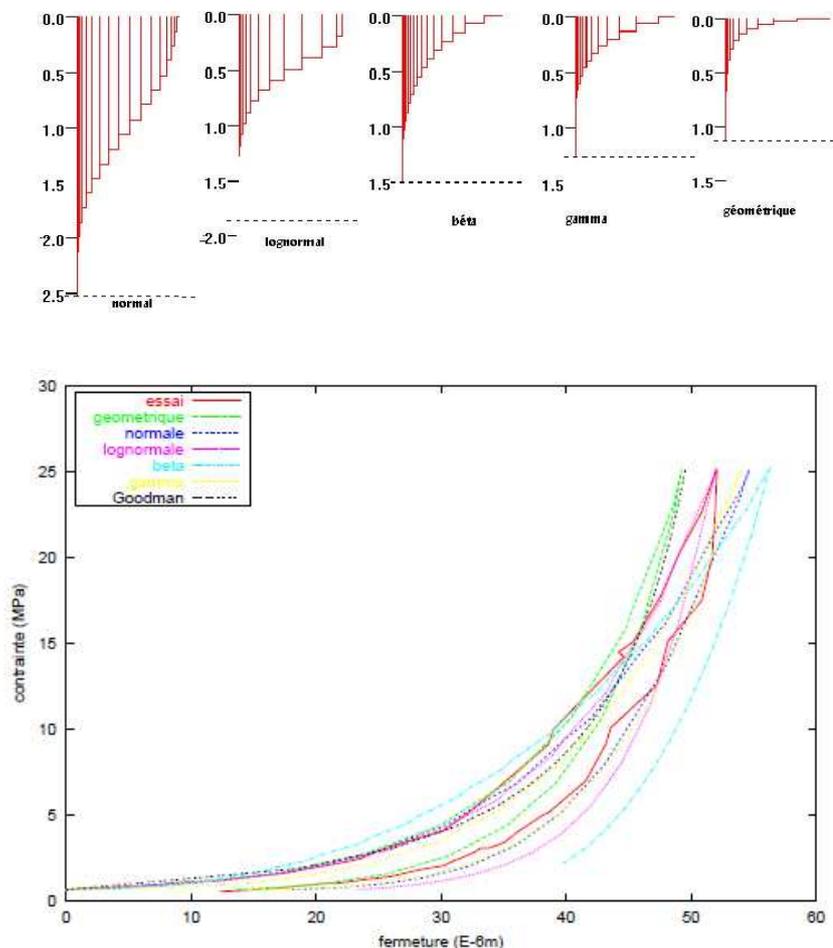


Figure 5 : Comportement mécanique d'une fracture de granite
Comparaison de la réponse de divers modèles de géométries de plots
(X. Dunat, 2000, Réf. [DUN-2000])

Ces travaux ont donné lieu à deux communications dans des congrès internationaux : au symposium MJFR3 à Vienne (Autriche) [Réf. 4-3], et lors du 9^e congrès mondial de l'ISRM à Paris [Réf. 4-4], et à deux communications dans le cadre d'une séance du Comité Français de Mécanique des Roches et des Journées du GDR FORPRO [Réf. 7-7 et 7-9].

A l'échelle globale : massif, gisement

Caractérisation de discontinuités dans des massifs rocheux fracturés :

Travaux de thèse (1986-1988) [Réf. 8-2]

Encadrements des thèses Brahim Chétouane, et Ali Rafïee [TH-CHE-4, (2004)], [TH-RAF-8, (2008)], du DEA de Mohamed KAMEL, de travaux d'élèves (équivalent projet Master I (projet long), et Master II (PFE)).

Contrats sur des exploitations : Luget, Souraïde, Ciments Français.

Collaborations internationales : Stephen Priest, UFRGS, Porto Alegre Brésil

Collaborations nationales : montage de projet ANR : FRACAS, MOMATAL.

Publications internationales : IJRM [Réf. 1-4], nationales : RFG [Réf. 2-1, 2-6],

Communications : Congrès ISRM [Réf. 4-1], GEOSTAT2008 [Réf. 4-21], conférence invitée AUSSOIS [Réf. 7-4]

Sous la direction de Bernard FEUGA, puis Francis WOJTKOWIAK, alors au BRGM, et de Philippe WEBER, à l'Ecole des Mines d'Alès, mes travaux de thèse « Application combinée de l'analyse structurale, de la géostatistique et de la théorie des blocs-clés, à l'étude de la stabilité des massifs rocheux fracturés » se sont d'abord intéressés à la caractérisation géométrique des réseaux de fractures [Réf. 8-2].

Sans reprendre l'ensemble des éléments bibliographiques de l'époque, 1985 – 1988, on peut rappeler que c'est en 1985 qu'est publié par R. GOODMAN et G.H.SHI le livre « Key block theory and its application to rock engineering » [GOO-1985] On retrouve dans cet ouvrage qui a connu un certain succès, des fondements exposés dans des publications plus anciennes et un peu moins accessibles par P. LONDE [LON-1970]. Il s'agit en fait, grâce à un système de projections stéréographiques, de déterminer les conditions cinématiques admissibles, pour que, étant donnés des plans définissant une ouverture (tunnel) ou un talus (tranchée, exploitation à ciel ouvert), un réseau de fractures planes supposées d'extension infinie, puisse définir un polyèdre, ayant au plus trois fois deux faces parallèles, susceptible d'être instable. Le nom de bloc clé vient de ce que, par analogie, une clé dans une structure en pierre en architecture, est l'élément assurant la stabilité d'un arc ou d'un ensemble d'autres blocs de pierre. J'ai été parmi les premiers en France à utiliser, lors de mes travaux de thèse, les concepts proposés par la méthode des blocs clés pour, après avoir déterminé sur simulation numérique de champs de fractures les blocs présents dans un massif, analyser s'il étaient ou non susceptibles d'être des blocs clés, et déterminer ensuite s'ils étaient instables en limites d'ouvrages : excavations souterraines ou à ciel ouvert. Ces travaux ont été présentés lors d'une séance du Comité Français de Mécanique des Roches [Réf. 8-1], et dans un article de la revue polonaise *Studia Geotechnica et Mechanica*, M. VINCHES [Réf. 2-2] à la suite d'un congrès franco-polonais de géotechnique co-organisé par l'INPL et l'université de WROCLAW.

Les bases méthodologiques de la technique de relevés des fractures avaient été posées dans le travail de thèse d'Hamid MASSOUD [MAS-1987], et je les ai complétées pour la description des blocs au cours de mon travail de thèse. Outre le manuscrit de thèse [Réf. 8-2], ces travaux ont donné lieu, avant la soutenance de thèse, à une publication dans la Revue Française de Géotechnique [Réf. 2-1].

La mise en œuvre d'outils classiques de la géostatistique sur des données obtenues par relevés manuels sur le terrain, selon un protocole validé par le BRGM, a conduit tout d'abord à une simulation de réseaux de fractures dotés de propriétés de structure identiques à celles des réseaux de fractures relevés. Les bordereaux de relevés permettent de distinguer les

fractures selon leur nature : failles, diaclases, schistosité, la nature de leur remplissage, l'extension de leur trace, leur pendage et direction, leur caractère aquifère ou non, leur positionnement par rapport à une origine de la station de mesure. Les dépouillements automatisés de ces données sur GDM (logiciel BRGM : Gestion de Données Minières) ont permis d'établir des familles de fractures, et différentes statistiques sur les espacements entre fractures, les distributions de longueurs de trace, et ce pour différentes orientations de stations de mesure, sur une même carrière.

A partir de ces données statistiques, j'ai simulé des réseaux de fractures planes, circulaires, dont les caractéristiques étaient identiques à celles des relevés, grâce à l'utilisation de programmes de génération issus des travaux de J. LONG et ses collaborateurs, au Lawrence Berkeley Laboratory [GUI-1986]. J'ai ensuite cherché à déterminer dans le massif quelles fractures, par leurs intersections, formaient des blocs. L'emploi d'algorithmes fondés sur les résultats de la topologie combinatoire m'a permis d'identifier des blocs polyédriques découpés par le réseau de fractures ainsi simulé. Le comportement de ces blocs était ensuite étudié par la méthode des blocs clés. Une synthèse de la démarche adoptée a été présentée au 7^e congrès mondial de la Société Internationale de Mécanique des Roches d'Aix-la-Chapelle, en 1991, [Réf. 4-1]. La figure 6, ci-dessous, reprend deux illustrations extraites de cette communication.

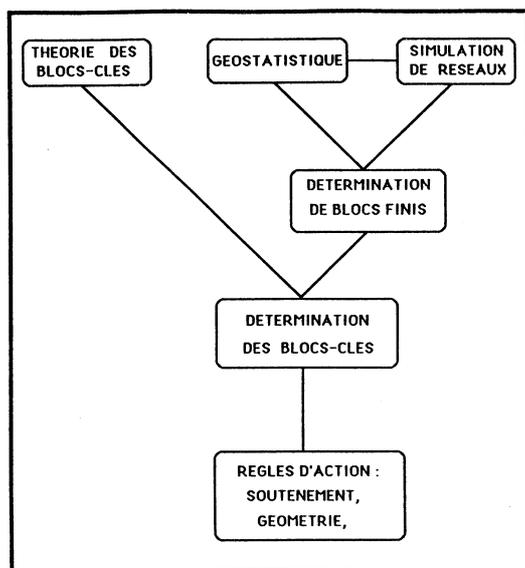


Figure 1. Organigramme du modèle conceptuel de traitement des données de fracturation des massifs rocheux

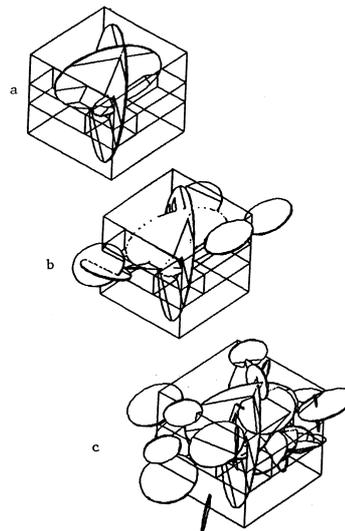


Figure 2. Exemple de génération de familles de fractures.
a. fractures positionnées de façon déterministe
b. ajout d'une famille engendrée de façon statistique
c. superposition d'une autre famille engendrée de façon statistique.

Figure 6 : Synthèse de la démarche de modélisation présentée au Congrès Mondial de l'ISRM d'Aix-la-Chapelle, [Réf. 4-1].

Dans le même cadre de l'application de la théorie des blocs clés, j'ai participé à l'encadrement des travaux de Mohamed KAMEL, DEA soutenu le 7 juillet 1989, sous la direction de Philippe Weber, à l'Ecole des Mines de Paris, « *Détermination des efforts extérieurs nécessaires à la stabilisation des blocs rocheux, à partir d'une analyse par la méthode des blocs clés. Application au confortement des massifs rocheux fracturés.* » L'intérêt essentiel de ce travail était de déterminer la direction et l'amplitude de la résultante minimale des forces à exercer sur un bloc clé instable de façon à le stabiliser, en fonction,

évidemment de sa géométrie propre, de celle de l'excavation et des blocs voisins, mais aussi notamment de l'angle de frottement et de dilatance entre les blocs.

En novembre 2001, j'ai recruté Brahim CHETOUANE pour une thèse ayant pour sujet: « *Approche combinée éléments finis / éléments discrets pour la modélisation des structures maçonnée* ». Cette thèse, faite en collaboration avec le Laboratoire de Mécanique et Génie Civil de l'Université Montpellier II, et s'appuyant sur le logiciel LMGC90 qui y est développé, sera présentée ci-après de façon détaillée. Concernant la caractérisation de réseaux de fractures, dont il est question dans cette section, et du fait des possibilités nouvelles qui se sont présentées fin 2003, de réaliser des calculs 3D sur des collections de polyèdres rigides sur la plateforme LMGC90, j'ai proposé la modélisation d'un massif rocheux en blocs 3D, à partir de relevés de fractures sur le terrain, dans le cadre d'un projet long que j'ai encadré. Ce projet s'est déroulé d'octobre 2003 à avril 2004 [VAL-2004].

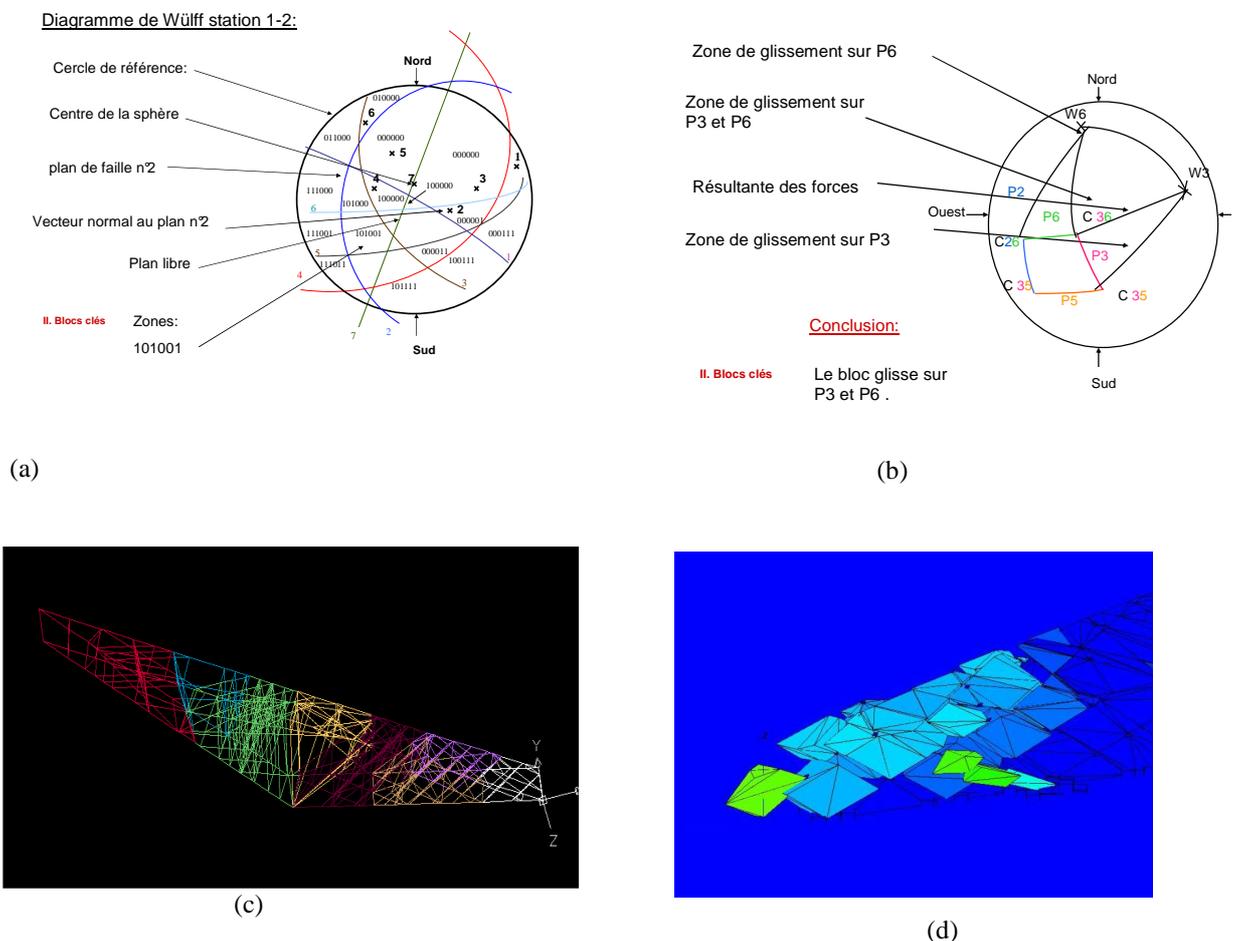


Figure 7 : Massif schisteux des Cauvines, Sainte-Cécile d'Andorges (a) familles de fractures et blocs-clés correspondants, (b) exemple d'analyse du comportement d'un bloc de type 101001, (c) modèle de la fissuration du massif 3D sur AutoCAD, (d) exemple de calcul de déplacements de blocs après transfert des géométries sur LMGC90. (d'après [VAL-2004])

Les premiers résultats, obtenus avec les élèves ingénieurs et Brahim CHETOUANE, sur ces domaines de la modélisation de massifs rocheux fracturés ont été encourageants : possibilité de transferts de géométrie d'Autocad vers LMGC90, obtention de trajectoires de blocs, détection correcte des contacts entre blocs tridimensionnels. Ceci m'a conduit à proposer en novembre 2004, un sujet de thèse: « *Contribution à l'étude de la stabilité des*

massifs rocheux fracturés : caractérisation de la fracturation in situ, géostatistique et mécanique des milieux discrets ». Les travaux de thèse ont démarré début février 2005, avec l'arrivée d'Ali Rafiee [Réf. TH-RAF-8 (2008)]

D'une manière générale, concernant la caractérisation de la fracturation des massifs rocheux, nous nous sommes basés sur divers cas réels, dans des conditions géologiques différentes, et avec des problématiques distinctes souvent liées à des demandes industrielles ou de laboratoires de recherche.

J'ai ainsi réalisé, avec Ali Rafiee, les relevés et l'analyse de la fracturation dans la carrière de pierre ornementale de Luget, en Charentes, et dans la carrière d'ophite de Souraïde dans le Pays-Basque. Suite à des contacts avec le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Toulouse, et notamment grâce à Muriel Gasc, responsable de l'équipe de recherche en mécanique des roches, ERA 1, nous avons eu accès à des données relatives à trois sites bien documentés : le talus de l'Esquirollet à Ax-les-Thermes, en Ariège ; le tunnel de Saint-Béat, en Haute-Garonne; le ravin du Pallat, près de Mont-Louis, dans les Pyrénées-Orientales. Sur le ravin du Pallat, nous avons testé la méthode de regroupement spectral des données d'orientations de fractures, telle qu'elle a été présentée par R. Jimenez-Rodriguez et N. Sitara [JIM (2006)] Nous avons ensuite déterminé les caractéristiques statistiques et géostatistiques de chaque famille de fractures ainsi identifiée, figures 8 et 9. Les résultats en termes de méthodologie ont fait l'objet d'une note technique parue dans l'International Journal of Rock Mechanics [Réf. 1.4]

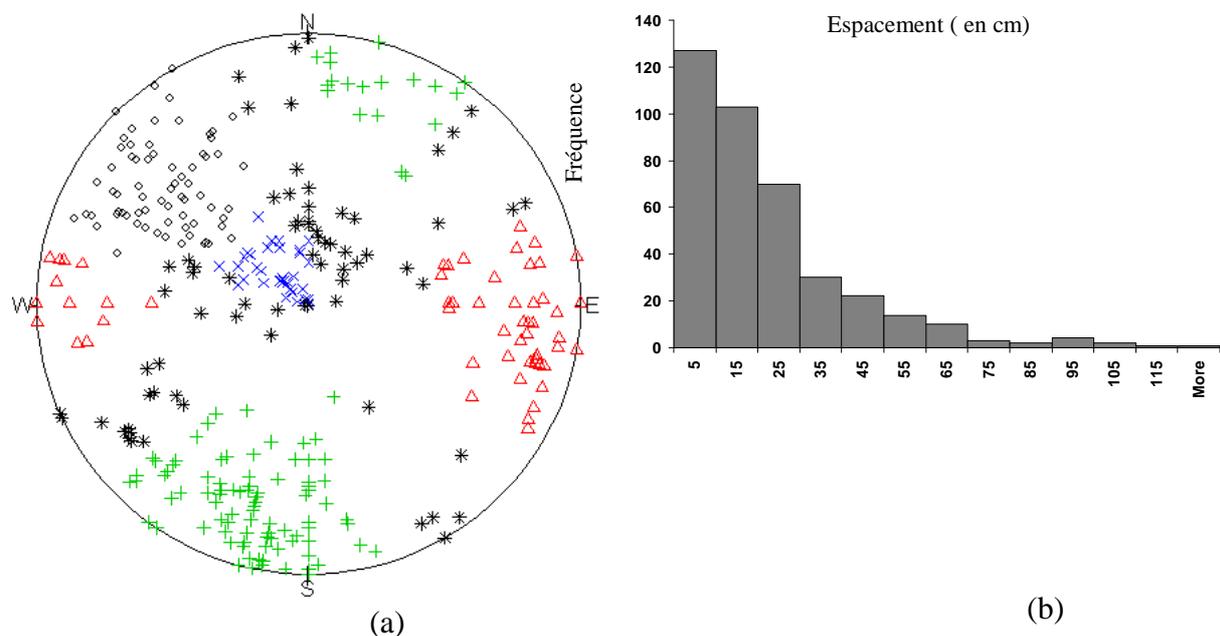


Figure 8 : Ravin du Pallat :
 (a) Regroupement des familles de fractures par la méthode spectrale,
 (b) Histogramme des espacements pour la famille 1. [Réf. 1-4]

On notera sur la figure 8(a) certaines fractures représentées par des * qui ne sont pas rattachées aux familles déterminées par le regroupement automatisé par analyse spectrale mis en œuvre dans le cadre de la thèse.

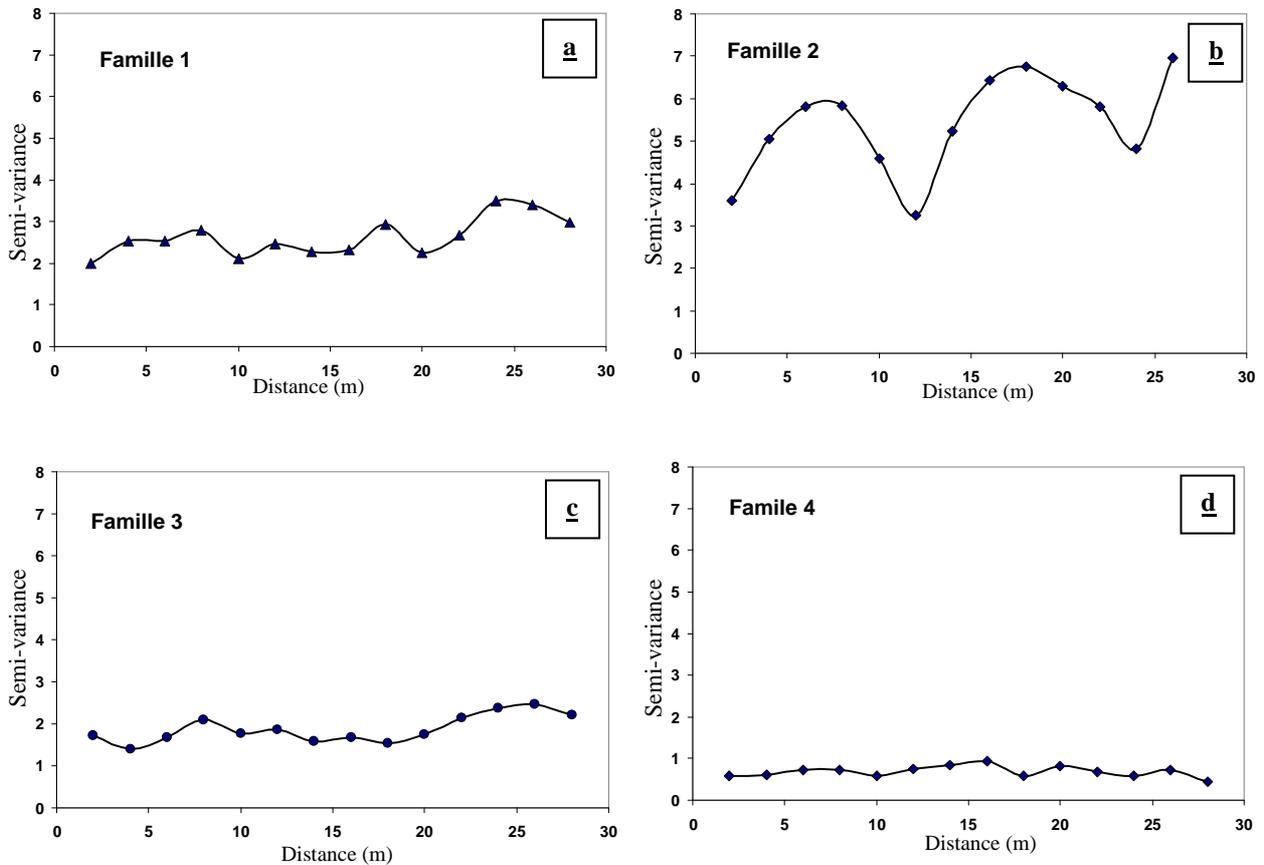


Figure 9 : Semi variogrammes des densités de fractures sur des segments de 2 mètres, pour les familles 1 à 4, respectivement, après les regroupements effectués par analyse spectrale. (Réf. 1-4)

Collaborations internationales et nationales :

Les travaux que j'ai réalisés sur la caractérisation des réseaux de fractures en massif rocheux m'ont permis de faire une présentation aux doctorants du département de génie minier de l'Université Fédérale de Rio Grande do Sul à Porto Alegre, Brésil, dans le cadre d'un financement CAPES-COFECUB, sur l'année 1999-2000. Au cours de ce séjour, j'ai participé à des réunions de recherche avec divers doctorants sur les relevés de fracturation et leur utilisation, pour l'amélioration de la sécurité et des conditions d'exploitation de carrières d'améthyste dans des « garimpus » brésiliens. Une des difficultés dans ces exploitations, était de déterminer l'état de contraintes dans le massif, et, au delà, un état de contrainte admissible de façon durable par les « piliers » laissés dans l'exploitation pour soutenir les terrains sus-jacents.

J'ai également reçu Stephen PRIEST, chef du département de génie minier, à l'université d'Adelaïde, pour un séjour de dix jours à l'Ecole des Mines d'Alès, en juillet 2003. Nous avons notamment échangé sur sa méthode de traitement des biais liés à la caractérisation des réseaux de fractures [PRI-1993], sur lesquels J.P. CHILES [CHI-1987] parmi d'autres avait travaillé. J'avais communiqué, après ma thèse sur ce sujet, à l'occasion

d'une école d'été d'abattage à l'explosif, M. VINCHES [Réf. 7-2]. Stephen PRIEST avait manifesté un vif intérêt pour la méthode Non Smooth Contact Dynamics (NSCD), et j'ai organisé pour lui une rencontre notamment avec Jean-Jacques MOREAU, fondateur de la méthode NSCD ; sur l'université de Montpellier II.

Des collaborations sur la caractérisation géostatistique des réseaux de fractures ont été menées avec l'équipe de recherche de Muriel GASC du LRPC de Toulouse, dans le cadre du programme quadriennal de l'ERA 01, 2004-2007. J'ai notamment assuré à destination des chercheurs et cadres de l'équipe une formation à la géostatistique linéaire. Nous avons déposé, en association avec d'autres partenaires, deux projets ANR sur des techniques de caractérisation et de suivi de la stabilité de massifs rocheux durant des travaux. Ces deux projets déposés dans les programmes Catastrophes Telluriques en 2006, et RGCU en 2007, et dont j'assurais la coordination pour l'Ecole des Mines d'Alès, n'ont pas abouti.

Statistiques sur les discontinuités géométriques, et analyse hydro-mécanique :

Thèse de P. Fenart (1999 – 2002) [TH-FEN-3(2002)] , Publication : Int. Journal of Hydrology [Réf.1.3].

Dans le cadre des recherches sur le comportement hydro-mécanique des massifs rocheux, j'ai participé de 1999 à 2002, à l'encadrement des travaux de thèse de Pascal FENART. Basés sur le site expérimental de Coaraze, au Nord de Nice, les travaux de recherche de Pascal complètent ceux conduits par Yves GUGLIELMI [GUG-1999], et ont nécessité la cartographie détaillée du site. J'ai participé sur site, et lors de nombreuses réunions sur l'avancement de sa recherche, à l'analyse statistique et géostatistique de la fracturation de ce massif. Cette fracturation a été considérée à deux échelles différentes du point de vue hydraulique, mais aussi du fait d'extensions de fractures significativement différentes. On a pu ainsi mettre au point un modèle à double perméabilité (perméabilité de joint et perméabilité de matrice) rendant compte, dans une certaine mesure, des comportements couplés hydro-mécaniques observés.

Les travaux que j'ai encadrés ont essentiellement concerné d'une part la caractérisation de la fracturation du site d'étude Coaraze, puis la compréhension de son fonctionnement lors de phases de mise en pression et vidange du réseau de fractures. Dans un deuxième temps, des modèles numériques d'écoulement dans des fractures dans un milieu sédimentaire à bancs individualisés ont été développés, de façon à conduire une analyse statistique permettant une hiérarchisation des paramètres du modèle. L'ensemble a permis de proposer une démarche de caractérisation des phénomènes hydromécaniques à l'échelle du massif.

On peut en schématiser les éléments principaux à partir des trois figures suivantes :

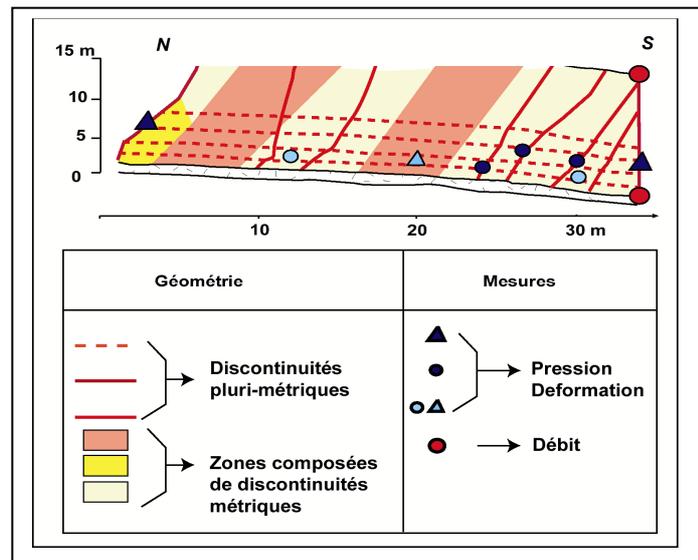


Figure 10 : Schématisation de la fracturation du site, sur une vue en élévation, et implantation des points de mesure. Site de Coaraze, (doc. P. FENART.)

On pourra noter la coexistence de discontinuités pluri-métriques, ou drains, de forte conductivité et de dimension équivalente à celle du massif qui délimitent des zones de blocs et de fractures métriques, plus fréquentes, mais moins conductrices, qui définissent les blocs dans ces zones. On remarquera aussi la présence de capteurs de pression et de déformation sur les drains, et dans la masse rocheuse à l'écart des drains.

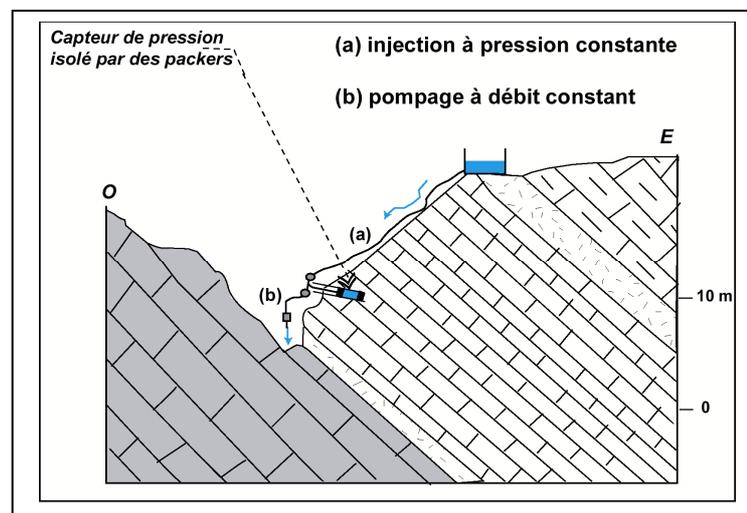


Figure 11: Schéma de mise en charge et vidange du site de Coaraze (doc. P. FENART.)

Sur la coupe présentée sur la Figure 11, orthogonale à la vue en élévation schématisée présentée sur la Figure 10, on distingue un bassin d'alimentation permettant à la demande l'injection à pression constante d'eau dans le massif. On réalise ensuite la vidange de ce dernier à débit constant. Le suivi en continu des capteurs de pression et de déformation permet d'obtenir les réponses en divers endroits du massif. L'analyse de ces courbes, dans l'espace et dans le temps, permet de remonter à des estimations de conductivités hydrauliques,

de capacités de stockages, des parts de déformation imputables dans le temps, au voisinage des drains, ou aux zones de blocs entre drains au cœur du massif.

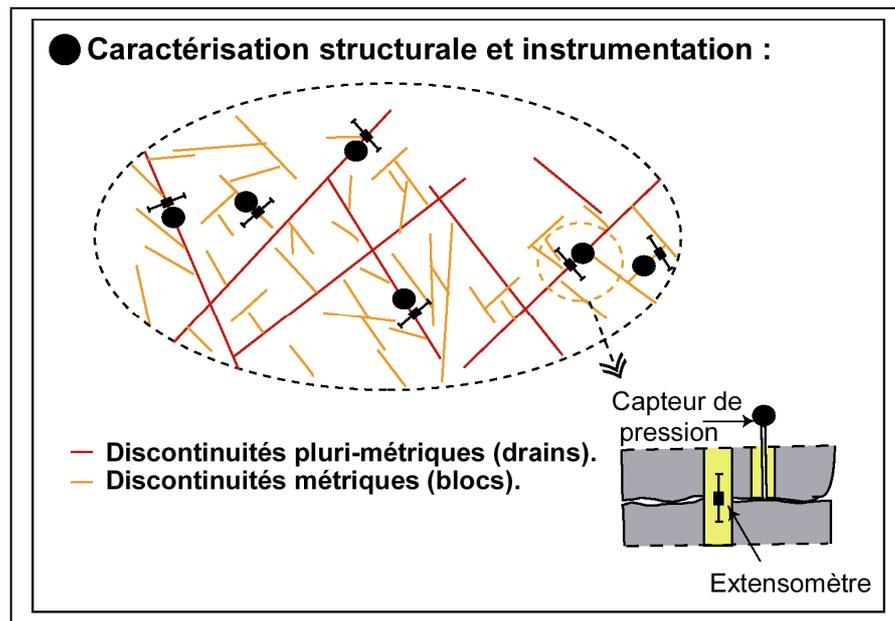


Figure 12 : Détail des dispositifs expérimentaux mis en œuvre. (doc. P.FENART)

La Figure 12 présente le détail de la disposition des capteurs mis en place dans le massif. Selon les cas ceux-ci ont été installés sur des drains, ou sur les discontinuités métriques dans les zones de blocs.

Le deuxième volet essentiel de la thèse de Pascal FENART a été la hiérarchisation des paramètres d'entrée d'un modèle numérique de fracturation pour l'étude du tenseur de perméabilité 3D, qui serait en quelque sorte la signature hydraulique du modèle. Il s'est agi essentiellement de conduire une analyse de la variance sur ces paramètres, après obtention des résultats de simulation. Les résultats principaux tirés de ces simulations ont été de donner une méthodologie de relevés de fracturation, permettant d'établir plusieurs *scenarii*, de façon à optimiser le temps passé sur le terrain, avec un objectif de prévision des ordres de grandeur des perméabilités, dans le cas de terrains stratifiés. L'article paru dans le Journal of Hydrology, dont je suis co-auteur, [Réf. 1-3], présente les principaux enseignements tirés de ces travaux de thèse, sur les aspects statistiques liés à la modélisation de la perméabilité.

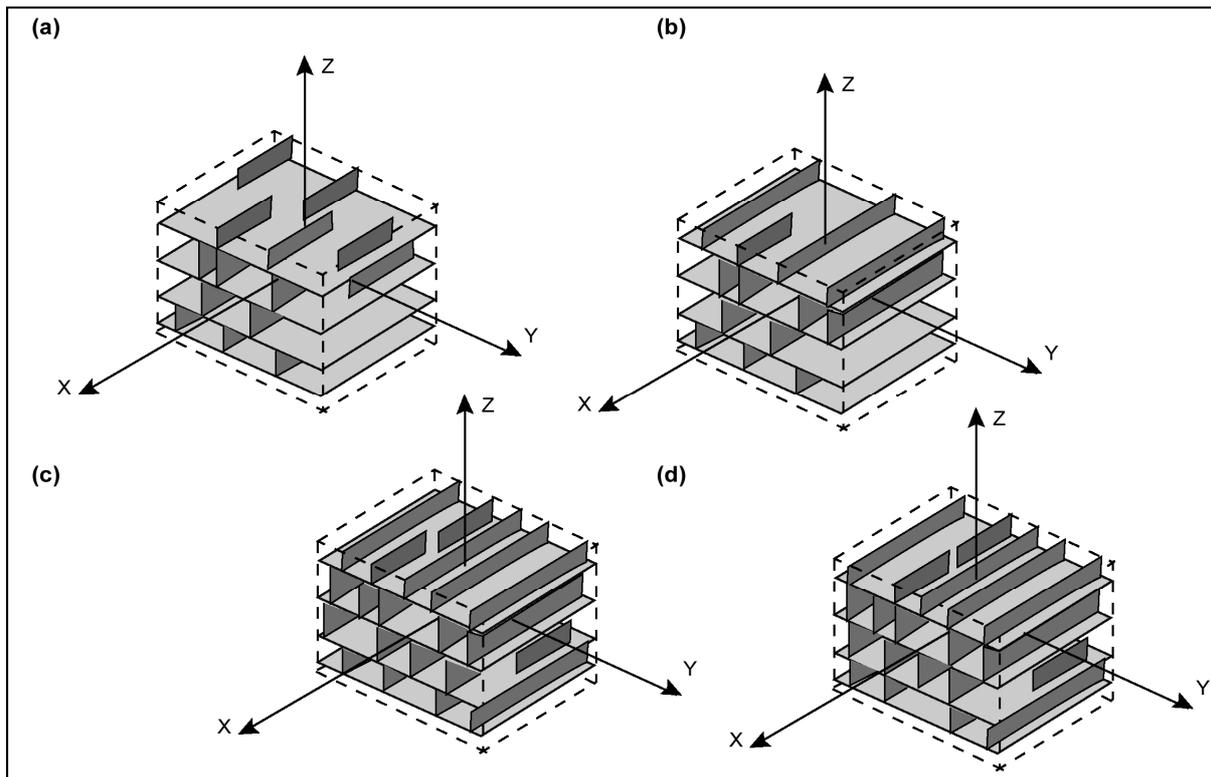


Figure 13 : Exemples de réseaux. (a) Faible densité, faible longueur des joints tectoniques, et forte capacité d'arrêt sur les limites stratigraphiques (b) Faible densité, longueur importante des joints tectoniques, et forte capacité d'arrêt sur les limites stratigraphiques, (c) Forte densité, longueur importante des joints tectoniques, et forte capacité d'arrêt sur les limites stratigraphiques (d) Forte densité, longueur importante des joints tectoniques, et faible capacité d'arrêt sur les limites stratigraphiques. [Réf. 1-3]

Caractérisation de discontinuités temporelles dans des gisements de déchets :

Etude variographique sur des productions de résidus d'incinération de déchets industriels spéciaux.

Contrairement aux discontinuités spatiales examinées jusqu'à présent, il est question dans ce paragraphe de discontinuités dans le temps. J'ai été responsable, en 1994 et 1995, de contrats d'études pour le compte d'une entreprise privée qui souhaitait connaître la variabilité de déchets ultimes, provenant de l'incinération de déchets industriels spéciaux. Deux processus d'obtention de ces déchets ultimes étaient analysés, de même que leurs conséquences en termes de variabilité, par rapport aux contraintes réglementaires, et aux procédés d'échantillonnage mis en jeu, tant en interne, que par l'administration chargée du contrôle des ICPE.

Du fait du caractère confidentiel des résultats, je ne donnerai comme illustration, que deux variogrammes, sur une teneur en imbrulés, permettant de juger de la différence, en termes de résultats, de procédés distincts mis en œuvre sur deux sites de production. Sur la Figure 14 suivante, les variogrammes expérimentaux sont exprimés dans les mêmes unités pour les deux courbes, on notera que l'un, avec un palier très faible, est à cette échelle très proche de l'axe des abscisses, et que l'autre présente un effet de trou assez marqué.

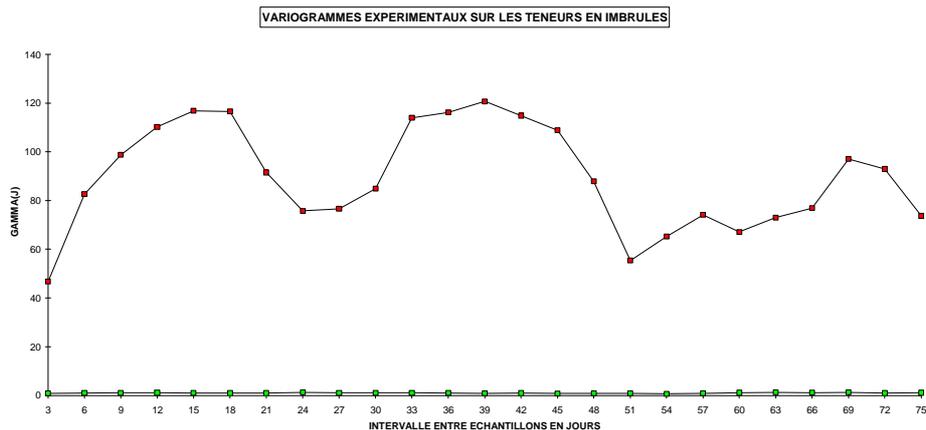


Figure 14 : Structuration dans le temps de la teneur en imbrûlés de la production de deux « gisements » de déchets.

Caractérisation de discontinuités spatiales dans des gisements de minéraux industriels :

Gisement d'andalousite de Glomel (Côtes d'Armor) : structuration de la teneur estimée par analyse d'image (thèse de N. Ricard [TH-RIC-1 (1995)], [Réf. 3-1], encadrement de projet de fin d'étude).

Gisements d'argiles kaoliniques de Clérac (Charentes) : échantillonnage, estimation de gisements, conséquences sur le procédé d'exploitation (encadrement de thèse de Mohammad Koneshloo [TH-KON- 6 (2007)] avec AGS, communication au XX^e congrès minier mondial [Réf. 4-8], contrats de recherche)

Gisement d'andalousite de Glomel (Côtes d'Armor)

A la suite de la première phase consistant à déterminer la teneur en andalousite d'un minerai, présentée ci-dessus (page 14), à l'échelle du cristal, la deuxième phase du travail de thèse consistait à déterminer l'erreur d'échantillonnage d'une série d'images, et l'erreur d'estimation de la teneur d'un front à partir d'un ensemble de photos. Ainsi la teneur d'un front de 30 x 10 m est estimée avec une erreur comprise entre -3% et +5%.

Ma participation au travail a concerné essentiellement cette deuxième phase, notamment l'application de techniques géostatistiques à la reconnaissance de la structure spatiale de diverses variables, puis à l'estimation du gisement.

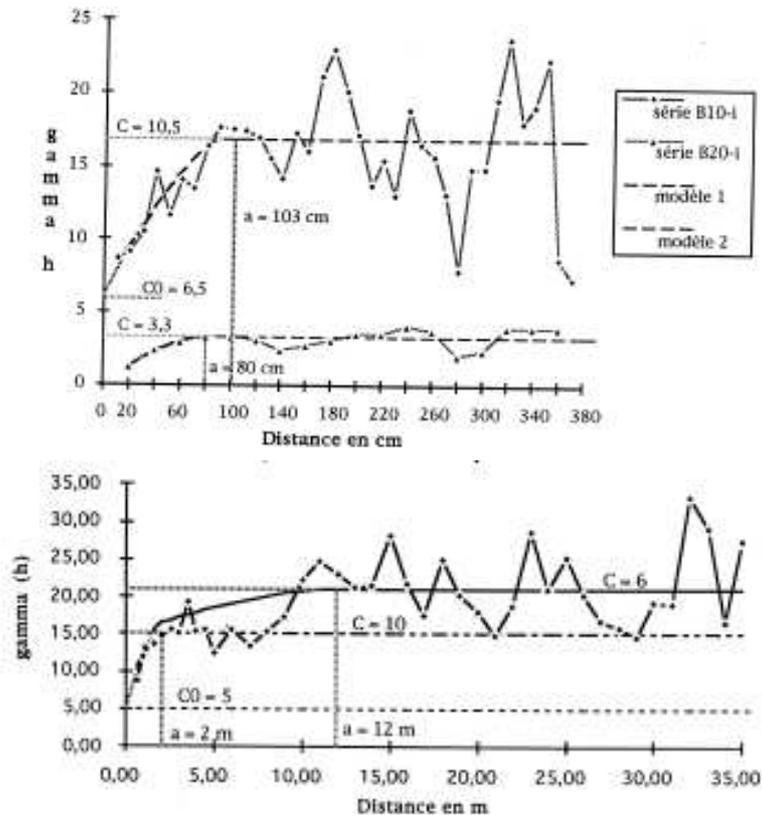


Figure 15: Mise en évidence de structures gigognes de la teneur en andalousite, sur le gisement de Glomel, Côtes d'Armor.

- (a) Comparaison de variogrammes sur des images (supports) 10x10 cm, et 20x20 cm, noter les portées de l'ordre du mètre,
 (b) variogramme entre photos à grande distance, noter deux structures à 2 et 12 mètres.

La mise en évidence d'une structuration de la teneur au niveau de la carrière, à différentes échelles intéressant directement l'exploitant, Figure 15, a permis de réorganiser totalement la méthode de reconnaissance du gisement, à une période où la réduction du temps de travail hebdomadaire était une préoccupation de nombre d'entreprises. J'ai encadré le travail de fin d'étude, niveau Master 2 dans la terminologie actuelle, qui a permis de finaliser la démarche (Projet de Fin d'Etude de Philippe Loiseau confidentiel, parce que touchant à l'estimation des réserves de ce gisement). Une estimation par krigeage, et par banc d'exploitation, de l'ensemble des blocs minéralisés d'une fosse, a été réalisée et validée par l'exploitant, dans le temps du PFE.

L'ensemble des résultats, en termes de méthode, a fait l'objet, trois ans plus tard, d'une communication plénière au congrès de l'industrie minérale de Metz (1998), et d'un article dans la revue professionnelle Mines et Carrières de la Société de l'Industrie Minérale [Réf. 3-1].

Gisements d'argiles kaoliniques de Clérac (Charentes) :

À la suite d'une sollicitation extérieure au laboratoire, et en accord avec deux collègues, Jean-Pierre ROLLEY, professeur de géologie à l'École des Mines d'Alès, et Michel DUCHENE, professeur d'exploitation des mines, à l'École des Mines de Paris, qui acceptaient de prendre la direction de thèse, j'ai assuré l'encadrement du travail de Mohammad Koneshloo (2003-2007) en lien avec l'entreprise AGS - partenaire industriel du laboratoire, depuis de nombreuses années - notamment sur les aspects de l'analyse des données, des méthodes d'échantillonnage, et du traitement géostatistique des données, hors

simulation conditionnelle des gisements. Le sujet de thèse était : « *Caractérisation, estimation, et valorisation de gisements kaoloniques du bassin des Charentes* ».

Les figures suivantes, extraites d'une communication retenue pour une présentation orale au XX^e congrès minier mondial en 2005 à Téhéran, [Réf. 4-8], permettent d'illustrer successivement :

- la chenalisation et l'anisotropie de certains gisements,
- la variabilité locale de teneurs pour des niveaux considérés jusqu'alors comme appartenant au même faciès géologique,
- des associations apparentes d'éléments chimiques, variables d'une exploitation à l'autre, sur le même bassin,
- une expérience industrielle opérationnelle masquant des variabilités de composition chimiques significatives.

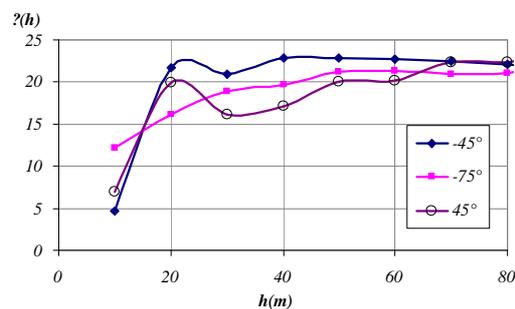


Figure 16 : Exemple de variogrammes directionnels, sur la teneur en alumine. Gisement de Maudet.

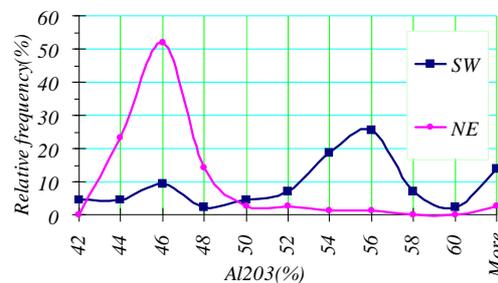


Figure 17 : Distributions des lentilles de kaolins indurés dans deux secteurs Sud-Ouest et Nord-Est du gisement de Bois des Rentes.

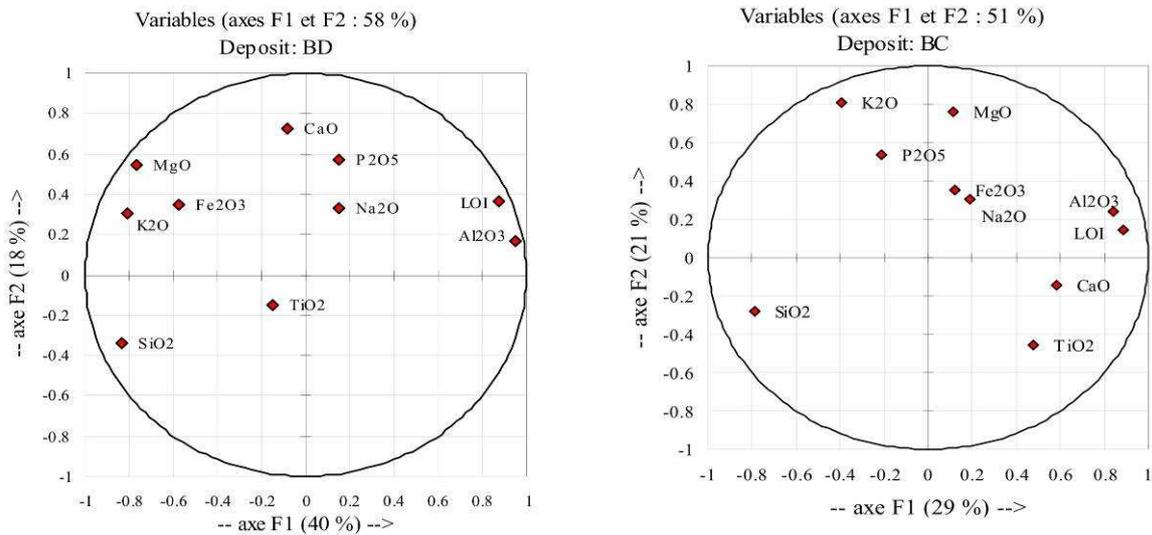


Figure 18 : Analyse en composantes principales des chimies sur les échantillons de deux exploitations distinctes : (a) ACP sur le Gisement de Bois des Rentes , (b) ACP sur le Gisement de Bois-Charles. [Réf. 4.8]

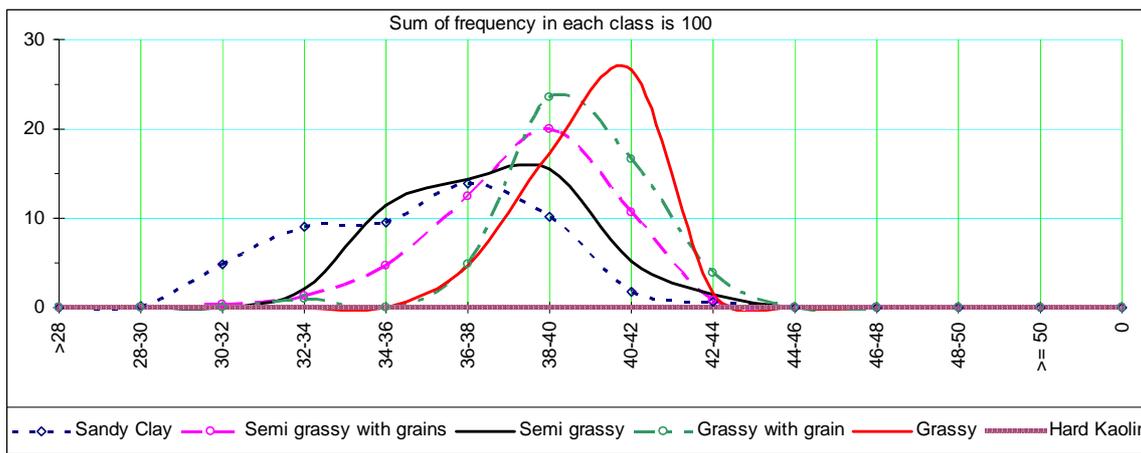


Figure 19 : Distribution des fréquences relatives des différentes classes de teneurs en alumine mesurées, pour divers codes industriels d'affectation des stocks, sur le gisement de Bois des Rentes.

L'analyse seulement statistique des données, la mise en évidence de corrélations statistiques entre ces données, l'examen critique de différents aspects des processus d'échantillonnage, et la mise en évidence d'une structuration spatiale des données dans le gisement, ont permis, en trois ans, une évolution notable de la perception des gisements et des processus industriels de production au sein de l'entreprise.

A la suite de la thèse de Mohammad KONESHLOO, soutenue en novembre 2007, j'ai poursuivi, en collaboration avec Anne JOHANNET-BERTIN, et dans le cadre de trois contrats successifs, l'analyse de données de calcination de ces argiles, par réseaux de neurones [Réf. 8-10]. Les résultats de ces travaux ont, à l'heure actuelle, un caractère confidentiel. D'un point de vue méthodologique général, notre démarche s'appuie sur deux fondements : d'un côté les réseaux de neurones sont des « approximateurs universels », ce qui convient à notre étude car les procédés mis en jeu sont non-linéaires, dans leur immense majorité, étant directement issus de procédés naturels longs et complexes : phénomènes géologiques de dépôts, compaction, transport, interactions sols-eau, ... dans lesquels des

variables d'état, peuvent être peu accessibles à la mesure. D'un autre côté, les réseaux de neurones, parce qu'ils effectuent une régression non linéaire par rapport aux entrées et par rapport aux paramètres, sont parcimonieux, c'est-à-dire qu'ils nécessitent moins de mesures que leurs équivalents statistiques. Cette propriété peut être avantageuse lorsque l'ensemble des mesures est limité du fait des difficultés à obtenir ces dernières. Un autre intérêt des réseaux de neurones par rapport aux modèles physiques ou conceptuels, est que l'approche "système" qu'ils implémentent comporte l'avantage de s'affranchir du choix subtil des paramètres et des conditions initiales.

L'association des techniques de caractérisation spatiale des phénomènes, et des propriétés des réseaux de neurones, brièvement rappelées ci-dessus, m'ont conduit, avec les autres membres de l'équipe enseignants-chercheurs, à travailler sur la caractérisation spatio-temporelle d'événements pluvieux, à des fins d'amélioration de l'alerte précoce en cas d'inondations rapides.

Caractérisation spatio-temporelle d'évènements pluvieux :

Encadrement de projets longs SDIS 48, minimissions math, mai 2004.

Encadrement de projet de Master I, HydroSciences Université Montpellier II (2007)

Début de thèse sur les évènements pluvieux extrêmes, contrat en négociation avec le SCHAPI

Contrat DDE 30 (2003 -2004), Projet CARNOT Mines, inter Ecoles : GéoSciences, Mines de Paris – CMGD Mines d'Alès.

A la suite d'un contrat d'étude dont j'étais responsable, passé avec la Chambre des Métiers de Lozère pour le développement de la filière Pierre dans ce département, j'ai été mis en rapport avec le Colonel Robert, commandant les pompiers de Lozère. A sa demande, j'ai encadré avec mon collègue Bernard Vayssade, divers travaux d'élèves, dont une mini-mission de mathématiques décisionnelles, concernant l'analyse de relations pluies – hauteurs d'eau. (cf. minimath 2004 SDIS 48, annexe C).

(a)

(b)

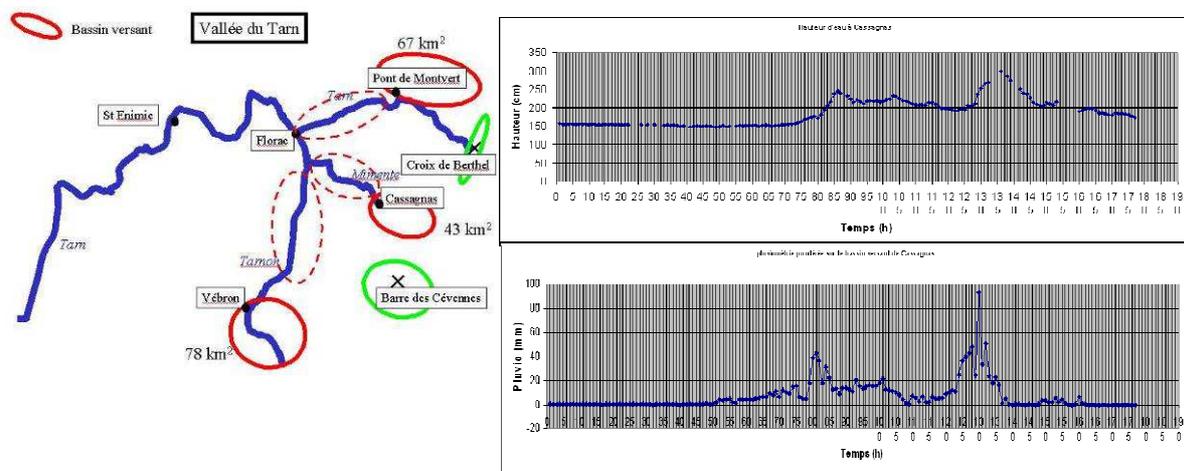


Figure 20: Etudes pour le SDIS 48 (2004) :

(a) Zone d'étude de la haute vallée du Tarn, du Tarnon et de la Mimente.

(b) callage de paramètres de transferts relations pluies – hauteurs de lames d'eau.

Les résultats de cette mission, la mise à disposition d'un ensemble de données météorologiques, et l'expérience antérieure d'un collègue enseignant-chercheur du laboratoire sur les phénomènes hydrologiques, en lien avec le Service d'Annonce des Crues du Département du Gard notamment, nous ont amenés, au sein de l'équipe, à travailler sur la caractérisation des évènements pluvieux extrêmes. J'ai assuré dans ce cadre, la formation de base des doctorants aux techniques de la géostatistique, essentiellement en linéaire.

En 2007, j'ai encadré les travaux d'une étudiante en Master I, du département HydroSciences de l'Université de Montpellier II, qui a consisté à examiner la structuration spatiale de phénomènes pluvieux cévenols sur deux bassins versants non jaugés. Les premiers résultats se sont révélés suffisamment intéressants pour le démarrage d'une thèse, malheureusement interrompue.

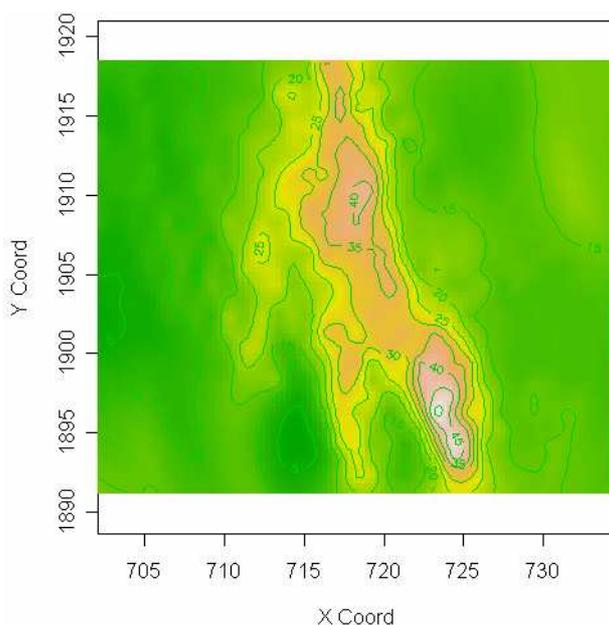


Figure 21 : Bassin versant du Gardon d'Anduze, krigage des précipitations.
Ajustement du variogramme expérimental par un modèle sphérique, au pas de temps de 6 minutes.
(d'après le rapport de stage de Master I, de Véronica Popa, annexe C)

Des discussions avancées avec le SCHAPI (Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations) devraient permettre de relancer ce travail très prochainement : thèse de Guillaume ARTIGUE, novembre 2009 – octobre 2012. J'y participerai en tant qu'encadrant pour l'analyse statistique et géostatistique des données spatiales et temporelles.

Des progrès substantiels dans la mesure des intensités de précipitation ont été réalisés grâce aux images radar. Une fois calibrées, ces images permettent de connaître la spatialisation des pluies dans la zone couverte par les ondes radar. Néanmoins, autant du fait du trop grand nombre d'informations délivrées par l'image radar, que du fait des variations d'échelles des bassins versants, cette image ne peut être directement utilisée par un système d'alerte. Il convient donc de réaliser une extraction préalable des caractéristiques de l'événement pluvieux.

La méthode proposée pour extraire les caractéristiques de l'image radar est statistique : il s'agit de réaliser une relecture des événements pluvieux, ayant ou non entraîné des crues, avec comme objectif une description de leurs caractéristiques spatiales et temporelles : détermination des variogrammes en fonction du temps. Les indications de palier et de portée, variables en fonction du temps, ainsi que la longueur de l'intervalle temporel de régularisation peuvent être des indicateurs discriminants d'une inondation à venir.

Ces indicateurs peuvent aussi être utilisés pour réaliser une typologie des événements pluvieux. Celle-ci doit être complétée par une typologie des bassins versants. En effet, afin de disposer d'un outil de modélisation transposable à des bassins non jaugés, il convient de disposer de critères synthétiques caractérisant le comportement hydrogéologique d'un bassin versant en crue. Pour cela, les données de géologie, pédologie, relief, hydrographie et occupation des sols doivent être analysées, puis condensées en critères pertinents pour la prévision des crues. Les deux typologies associées, d'événements pluvieux et de bassins versants, permettront d'estimer au mieux la criticité de la situation.

Il est également envisagé d'enrichir la typologie en utilisant d'autres méthodes, en particulier celles issues du traitement du signal : corrélogrammes croisés, analyse temps fréquence par transformées en ondelettes.

Fin mai 2008, le projet NEURO-N'-EAU-DYSSEE, associant l'équipe « Géo-Mécanique et Hydrologie » du CMGD (Ecole des Mines d'Alès) et l'équipe « Systèmes hydrologiques et réservoirs » du Centre de Géosciences (Ecole des Mines de Paris) a été validé. Les travaux en commun concernent l'application combinée de géostatistique, de réseaux de neurones, et de modèles phénoménologiques à la caractérisation du comportement hydrologique d'un bassin versant de la région parisienne, instrumenté et suivi depuis plusieurs dizaines d'années. La partie réseaux de neurones est prise en charge par une collègue enseignant-chercheur de l'équipe Géo-Mécanique et Hydrologie.

Etude du comportement mécanique de milieux discontinus :

Traitement de discontinuités de matériaux dans le cadre de la MMC

Modélisation du comportement thermo-mécanique en régime transitoire de structures de génie civil. Traitement par modèles éléments finis 3D.

Groupe AREVA, 124 k€ de contrats confidentiels, sur quatre contrats successifs de 1999 à 2002, un rapport technique et quatre rapports de synthèse.

Les modélisations numériques que j'ai réalisées concernaient des ensembles de dalles et poteaux, sur appuis élastiques. Les études traitaient de la prise en compte d'effets différés dans le béton (fluage), et de chargements thermiques en régime transitoire et stationnaire. Les modèles volumiques mis en œuvre ont compté jusqu'à plus de 900 000 ddl. J'ai été responsable de l'ensemble des contrats, de la définition des géométries et cas de charges étudiés, de la définition des hypothèses de calcul (lois de comportement, couplages), et des principes de maillage 3D adoptés.

Modélisation du comportement différé d'assemblages multi-matériaux de structures continues tridimensionnelles : polymères, béton armé et précontraint.

Traitement par modèles éléments finis 3D. (Société SARET, 40 k€, 1999-2002)

Il s'agissait de prendre en compte, dans des modélisations numériques d'assemblages de pré-dalles précontraintes et de dalle de béton coulé en place, des phénomènes liés au fluage et à la relaxation de précontrainte, ainsi qu'au phasage du procédé de construction. Les résultats sur le comportement de joints de pré-dalles en polymères chargés étaient l'objet principal de l'étude. Les modèles mis en œuvre ont nécessité le développement de méthodes de maillages 3D particulières, de façon à respecter les positionnements des diverses armatures présentes, et des câbles de précontrainte. Une attention particulière a été apportée à la génération de zones de transition dans la finesse des maillages utilisés, notamment à proximité du joint de pré-dalle. Les modèles ont nécessité la résolution de systèmes à 1,2 million de degrés de liberté.

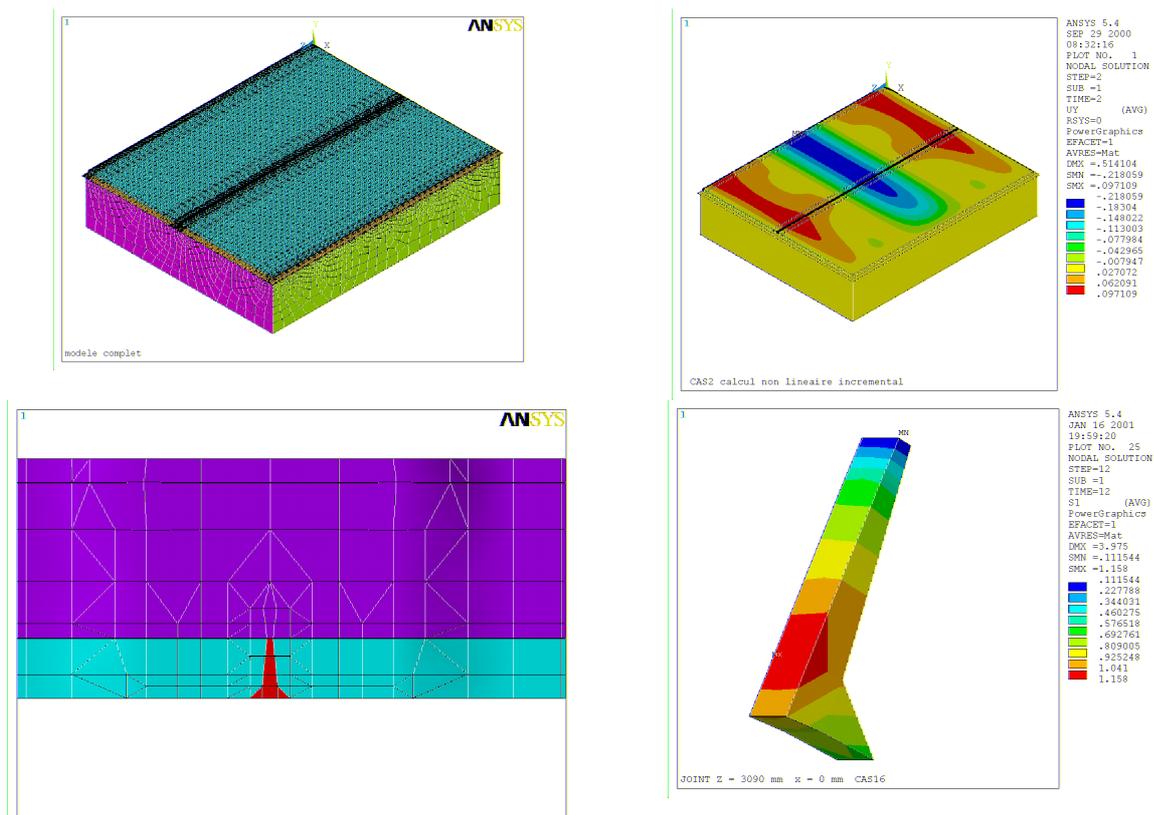


Figure 22 : Etude de joints de pré-dalles précontraintes : (a) ensemble du modèle des pré-dalles seules, (b) flèche après coulage du béton frais sur étais, (c) détail d'une section du maillage volumique (d) exemple de contrainte principale dans le joint de pré-dalle [Réf. 8-5]

Comportement de structures maçonnées : comparaisons de résultats mécaniques obtenus sur des modèles éléments finis avec homogénéisation et par éléments distincts, en 2D.

Thèse de D. RAFFARD (octobre 1996 – décembre 2000), [Réf. TH-RAF-2, 2000], (logiciels utilisés ANSYS, et UDEC).

A la suite d'un colloque en 1994 organisé à l'Ecole des Mines d'Alès sur l'exploitation des pierres naturelles, j'ai rencontré le professeur Philippe LEVEAU, professeur d'antiquité nationale, au Centre Camille Jullian de l'Université de Provence, responsable d'un important programme de fouilles sur l'aqueduc d'Arles, dans les années 1980, en particulier sur le site du franchissement du vallon des Arcs par l'aqueduc des moulins de Barbegal à l'Est, et l'aqueduc d'Arles à l'Ouest. Il souhaitait analyser avec des géotechniciens et des ingénieurs, la cohérence de certaines hypothèses qu'il formulait sur ces ouvrages antiques, leur fonctionnement, et leur ruine.

Après plusieurs visites sur le site, j'ai encadré un certain nombre de travaux d'élèves, et un relevé de géomètre, de façon à disposer de données utilisables pour une modélisation mécanique des ouvrages. En octobre 1996, Delphine RAFFARD a démarré sa thèse, avec une bourse du sénat, obtenue suite à la constitution d'un dossier que j'avais monté en lien avec le centre Camille Jullian, et fait valider au printemps 1996 par le Conseil d'Evaluation

Scientifique des Ecoles des Mines. Le titre proposé était : *Modélisation d'ouvrages en pierre et en maçonnerie d'intérêt archéologique. Couplage matériau – architecture - adaptation au site géotechnique.*

La méthodologie proposée comprenait :

- une synthèse bibliographique sur quelques ouvrages de référence de plusieurs points de vue : matériaux, architecture, géotechnique,
- des caractérisations complémentaires nécessaires sur les trois plans : matériaux, architecture, géotechnique,
- des modélisations : par éléments finis, et par la méthode des blocs distincts, avec analyse de sensibilité aux conditions aux limites, aux paramètres architecturaux, aux comportements rhéologiques des matériaux,
- une comparaison à l'existant.

Ces travaux ont été largement abordés lors de la thèse de Delphine RAFFARD, sous la direction de J.P. HENRY: *Modélisation de structures maçonnées par homogénéisation numérique non linéaire : application aux ouvrages d'intérêt archéologique.* [Réf. TH-RAF-2, 2000]

L'enseignement principal que je retire de cette thèse est la nécessité impérieuse d'un travail de collaboration étroit avec les hommes de l'art : archéologues et architectes du patrimoine dans ce cas, tailleurs de pierre dans d'autres cas, qui, par leurs connaissances précises des bâtiments, des techniques de construction et de pose, souvent visibles sur site pour les seuls initiés, permettent de définir des unités stratigraphiques, fondamentales pour une modélisation réaliste de l'ouvrage.

Traitement de discontinuités de géométries, dans le cadre des Méthodes de Blocs

Premiers travaux sur la Méthode des Eléments Distincts (approche DEM de Cundall)

Premiers travaux sur UDEC : résultats, et limites, [TH-RAF-2, 2000] et [Réf. 4-2]

Nous avons modélisé deux arches de l'aqueduc d'Arles, tel qu'il a pu être construit au premier siècle avant Jésus-Christ, d'après une reconstitution architecturale proposée par Robert THERNOT [THE-1998]. La figure 23 suivante est extraite de la première communication internationale que j'ai présentée en mai 1998 sur ces travaux [Réf. 4-2]. On remarquera essentiellement dans cette communication l'étude de sensibilité aux valeurs du coefficient de frottement entre blocs, dont la détermination plus précise par des essais en laboratoire sera réalisée ultérieurement.

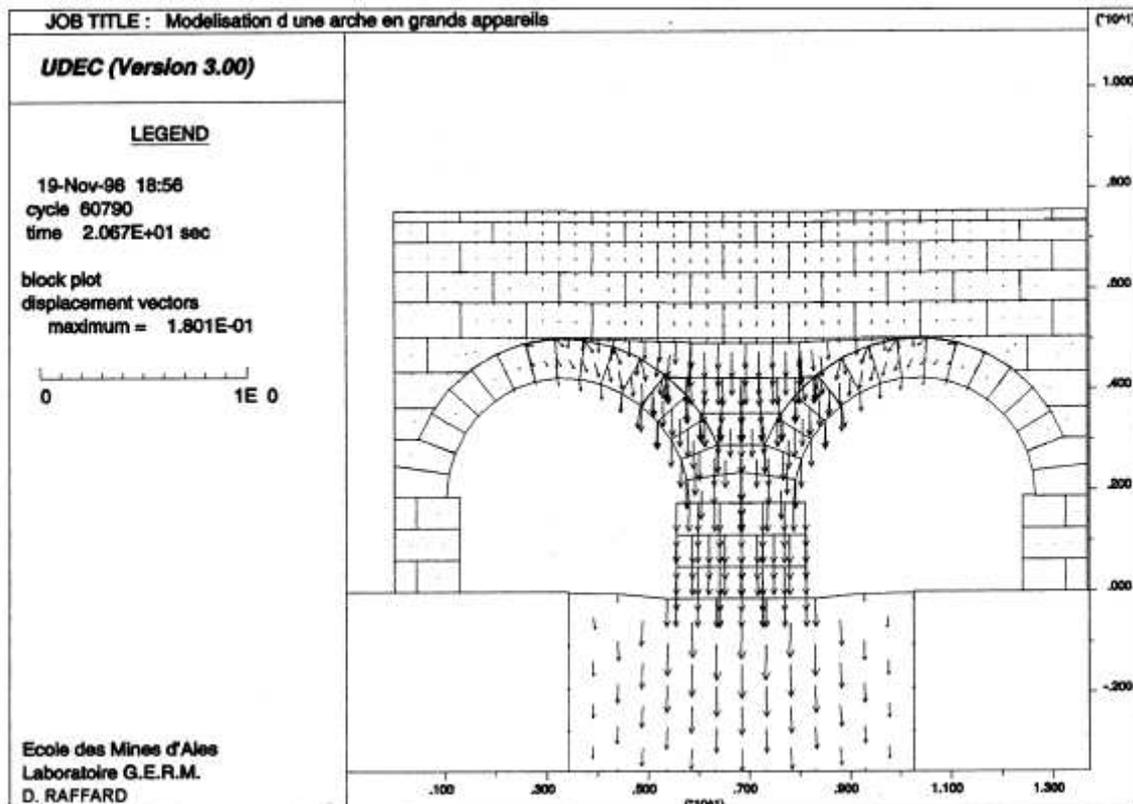


Figure 23: Premier modèle 2D de l'aqueduc d'Arles, au Vallon des Arcs. [Réf. 4-2].

Comparaison de diverses méthodes par éléments discrets : DEM et NSCD.

Comparaison méthodes des éléments discrets avec résolution par pas de temps (time-stepping), par opposition à (event-driven), différenciées par schéma de résolution de nature explicite (DEM de Cundall, implémentée dans UDEC et 3DEC) ou implicite (méthode NSCD de Moreau, implémentée dans LMGC90)
Thèse de B. Chétouane [TH-CHE-4, (2004)], [Réf. 4-2, 5-5]

Les travaux présentés dans cette section font suite à l'invitation faite, le 25 janvier 2001, par Olivier MAISONNEUVE de rencontrer l'équipe Systèmes Multi Contacts du Laboratoire Mécanique et Génie Civil de l'Université de Montpellier II, à l'occasion de la présentation au Centre des Matériaux de Grande Diffusion à Alès, en présence de Philippe LEVEAU, des résultats des travaux de Delphine RAFFARD. Il m'apparaissait en effet que la modélisation de structures sur un code par éléments distincts présentait des limitations très fortes pour une activité de recherche dans la mesure où le code était fermé.

Le choix de la méthode d'intégration des équations aux dérivées partielles fait dans la méthode des blocs distincts de CUNDALL, entraîne nécessairement des choix de pas de temps extrêmement courts, parfois liés à la taille des éléments les plus faibles, et des approximations sur les lois de contacts qui peuvent conduire à l'introduction d'artéfacts numériques modifiant la nature des phénomènes que l'on espère modéliser. Sans méconnaître le travail de précurseur de Peter CUNDALL, Jean-Jacques MOREAU, et l'équipe de mécaniciens et informaticiens qu'il a su intéresser à la réalisation d'un outil de calcul mettant en œuvre sa méthode, ont développé une méthode originale pour, selon J.J MOREAU [MOR-2000] « *calculer le mouvement, ou discuter de l'équilibre de collections de corps rigides ou déformables entre lesquels des contacts usuellement affectés de frottement sont susceptibles de s'établir ou de se rompre* », mais ont aussi permis de faire sauter la barrière de la

dépendance vis-à-vis d'un code de calcul fermé et unique, pour beaucoup de laboratoires et leurs chercheurs.

La méthode Non Smooth Contact Dynamics (NSCD), s'attache au traitement de situations non régulières, par leur mise en équations exacte. Pour reprendre la classification de J.J. MOREAU [MOR-1999, MOR-2000] les non régularités peuvent être de plusieurs types :

- *non régularité spatiale*, du fait de l'expression des conditions géométriques de non-interpénétration entre blocs, et éventuellement de leur confinement latéral par des parois extérieures ;
- *non régularité en loi*, car la réalisation mécanique des liaisons de non-interpénétration implique des forces de contact, gouvernées par des lois très peu régulières ;
- *non régularité temporelle*, en cas de collision entre des corps traités comme rigides, on attend des sauts de vitesse.

Dans les méthodes usuelles par éléments distincts, on remplace de façon approchée les contraintes d'unilatéralité par des lois de répulsion qui sont activées dès que deux corps sont suffisamment proches (on parle souvent de ces techniques numériques sous le terme générique de Molecular Dynamics, M D). De plus, des lois de contact non régulières, telles que le frottement sec, et les collisions éventuelles, peuvent être approchées par des procédures analogues de régularisation (on désignera souvent ces techniques numériques sous le terme générique d'Event Driven , E.D.). La dynamique du système est alors régie par des équations différentielles suffisamment régulières pour être traitées par des méthodes numériques classiques. L'inconvénient est alors que le besoin de précision demande l'utilisation de lois d'approximation très « raides », et que donc les schémas par pas de temps appliqués doivent avoir recours à de très petits intervalles de temps, conduisant éventuellement pour assurer une stabilité numérique à l'introduction de coefficients d'amortissement, ou d'accroissement artificiel d'inertie.

Nous avons donc commencé dans le cadre des travaux de thèse de Brahim CHETOUANE, à nous intéresser au comportement dynamique de murs de pierre, et voir comment se manifestait concrètement, dans ce cas là, la différence de traitement des non régularités. Deux logiciels mettant en œuvre la méthode des éléments distincts ont été utilisés : l'un ayant recours aux techniques de régularisations décrites ci-dessus (de type MD, utilisant l'approche pas à pas), à savoir UDEC ; l'autre la méthode NSCD, utilisant mettant en œuvre une approche pas à pas, mais sans régularisation des non-régularités. Ces premiers travaux ont fait l'objet d'une communication au congrès de l'APS, Association pour l'identification et l'étude des Pathologies d'origine Sismique dans le bâti ancien, en octobre 2002, [Réf. 5-5].

La figure 24 en particulier, extraite de cette communication peut être vue comme révélatrice de différences dues aux deux méthodes de traitement des non régularités. On pourra y remarquer la différence d'amplitude du déplacement calculé par les deux méthodes NSCD et DEM de CUNDALL, mais aussi observer la différence d'allure des déplacements calculés, allure dépendant du système de résolution adopté dans chacune des deux méthodes. On pourra se référer pour le détail à la publication [Réf. 5-5].

De façon à pouvoir traiter des structures réelles, une interface entre Autocad, logiciel largement utilisé dans le monde du génie civil et du bâtiment, et LMGC90 a été réalisée, par B. CHETOUANE. Elle permet la reconnaissance de blocs 2D et 3D, et le traitement des données nécessaires à LMGC90 pour une définition automatique des blocs.

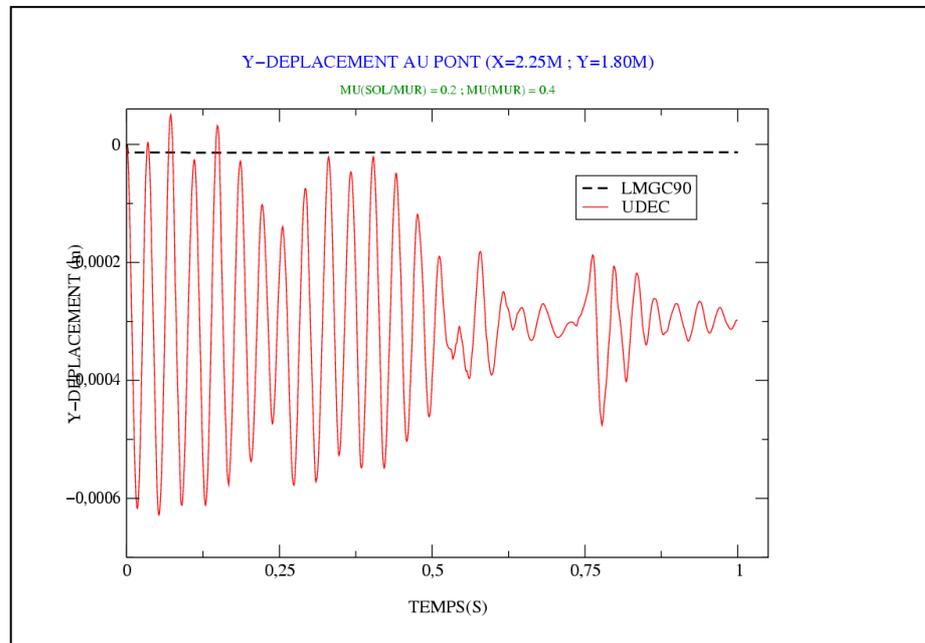
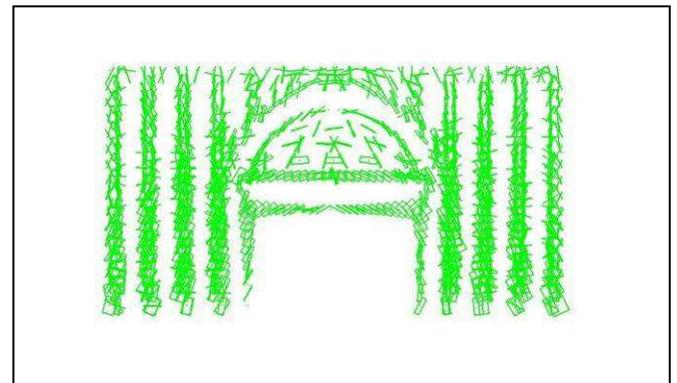
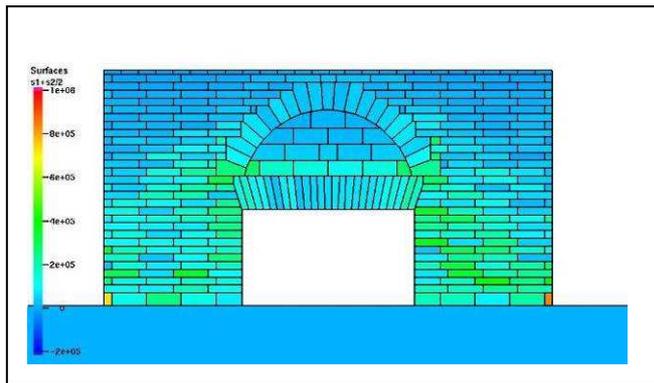


Figure 24 : Déplacement vertical du centre du mur de pierre, sous sollicitation sinusoïdale

Nous avons testé cette interface sur une structure réelle, qui est la façade de l'église de la Sainte-Famille à Istres. En complément d'une modélisation réglementaire, effectuée par la société Géonuméric, destinée à dimensionner des poteaux bétons coulés à l'intérieur de la maçonnerie de pierres appareillées, sous l'hypothèse d'un comportement élastique continu de la structure, nous avons conduit des investigations sur le comportement en dynamique en 2D de la façade ouest de l'édifice, en considérant la structure comme discontinue. Seule une méthode telle que NSCD permet d'obtenir des résultats du type de ceux présentés sur les figures suivantes : calcul des efforts de contact, sous sollicitation dynamique.

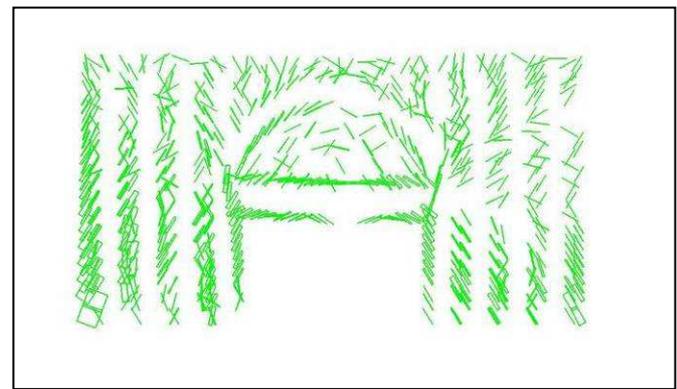
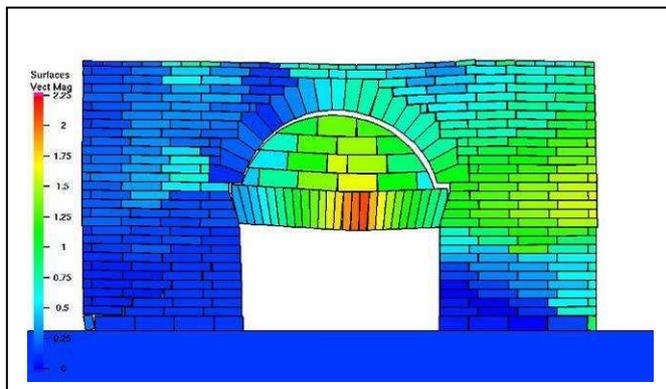
Les paramètres de conduite du calcul, comme les données d'entrée du modèle sont entièrement ouverts à l'utilisateur. La fondation du mur composé de blocs rigides frottants a été soumise à une sollicitation dynamique horizontale de période 2 Hz, d'amplitude 1 m/s, et d'un déphasage de $\pi/2$. Le coefficient de frottement entre pierre est pris égal à 0,8 ce qui correspondant à un angle de frottement de 39 degrés.



a) Visualisation des contraintes volumiques

b) Visualisation des descentes de charge

Figure 25 : Visualisation de l'état de stabilité du mur, sous poids propre, t=0.

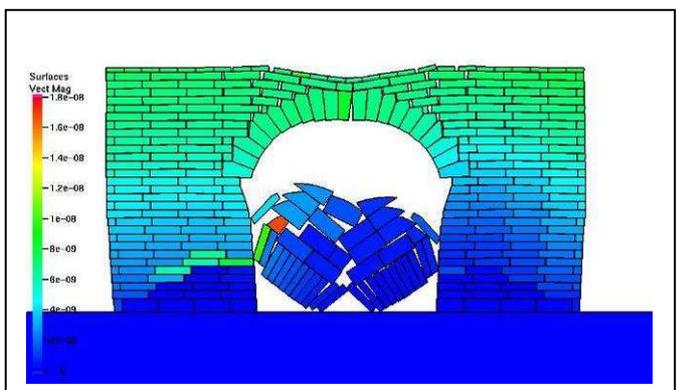
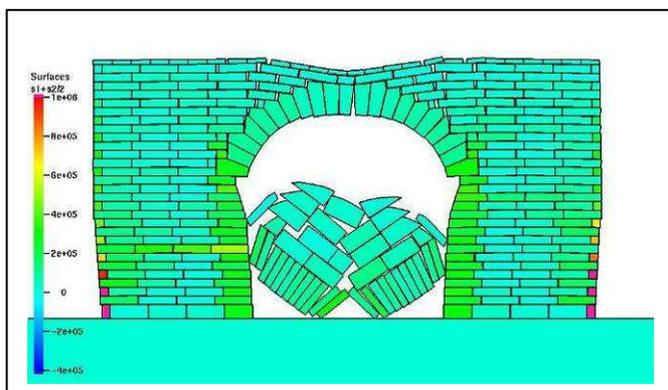


a) Visualisation des contraintes volumiques

b) Visualisation des descentes de charge

Figure 26 : Visualisation de l'état d'instabilité du mur, sous sollicitation dynamique, à t= 0,04 secondes.

On pourra noter l'amorce de chute de la plate-bande, et du tympan sous l'arc de décharge. Sur la descente de charge on constate une rupture des contacts entre blocs, significative de leur « isolement » en chute libre, au centre de plate-bande. Après sollicitation pendant deux secondes de la fondation, on effectue un calcul pendant deux autres secondes qui permet de retrouver une situation d'équilibre, figure 27 a), indiquée par les faibles vitesses des divers blocs figure 27 b), de l'ordre de 10^{-8} m/s, sur des intervalles de temps de $0.5 \cdot 10^{-3}$ seconde.



a) Visualisation des contraintes volumiques

b) Visualisation des descentes de charge

Figure 27 : Visualisation du nouvel état de stabilité du mur, sous poids propre, à t= 4 secondes.

Développements dans le cadre d'applications de la méthode NSCD

Mise en place de tenseur de déformation et de contrainte sur un ensemble d'éléments rigides 2D et 3D

Publication dans l'International Journal of Numerical Methods in Engineering [Réf. 1-2], conférences internationales [Réf. 4-5, 4-7, 6-4]

J'ai participé, avec les co-encadrants de Brahim CHETOUANE, et en bénéficiant de l'appui de J.J MOREAU, à la mise au point des définitions, du programme et des tests de validation des tenseurs de déformation puis de contrainte sur des cellules formées de blocs rigides. La communication parue dans les actes de la conférence IDETC 03, organisée en septembre 2003, par l'American Society of Mechanical Engineers, [Réf. 4-5], reprend l'essentiel des concepts développés, et des premiers résultats obtenus.

Les pistes qui se dégagent pour la suite immédiate de ces travaux, étaient l'identification des cellules les plus sollicitées de façon à envisager de mailler en blocs déformables, les blocs au centre des cellules concernées. Il restait à envisager l'extension du concept des blocs voisins à un espace 3D maillé. Enfin, il était intéressant de pouvoir définir des cellules de tailles variables, et ainsi de pouvoir retrouver sur des ensembles locaux représentatifs de volumes plus importants que des blocs isolés, des contraintes, ou des déformations plus en rapport avec les habitudes des ingénieurs du génie civil. Des comparaisons des grandeurs fournies par des modèles continus, et les différences de valeurs, et de comportement des structures, du fait des différences de modèles mis en œuvre, peuvent apporter des éclairages complémentaires fort intéressants, comme suggéré par les travaux en 2D, conduits sur la façade de l'église d'Istres.

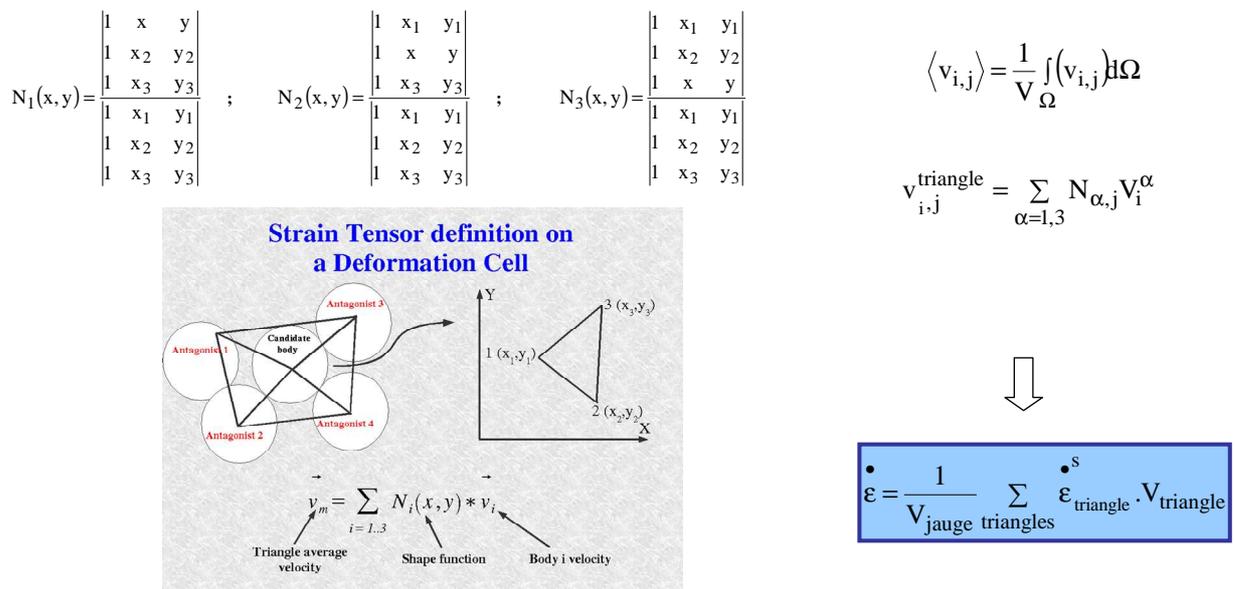


Figure 28 : Concept d'une cellule de déformation au voisinage d'un bloc rigide, et définition d'un tenseur de déformation associé [Réf. 4-5]

La présentation la plus complète du concept de cellule de déformation, et des applications que l'on peut en faire se trouve dans l'article de l'International Journal of Numerical Methods in Engineering, [Réf. 1-2].

Mise en place d'un algorithme spécifique de détection de contact blocs 3D polyédriques en contact face/face,

Thèse R. Pérales (2004 - 2007), [TH-PER-5,(2007)], publication Revue Européenne de Génie Civil [Réf. 2-5], conférence nationale [Réf. 6-7].

Suite à l'examen d'un certain nombre de problèmes liés notamment au traitement des contacts en trois dimensions, dans le cas de blocs à faces parallèles en vis-à-vis, j'ai encadré, à Alès, le travail de thèse de Robert PERALES, sous la direction de Claude Bohatier. D'un point de vue scientifique, la mise au point d'algorithmes plus performants que ceux jusqu'alors disponibles pour traiter correctement les contacts en 3D ont été au centre des travaux. La levée des indéterminations dans le cas de contacts face-face a été un des points traités de façon originale, voir annexe B-6 [TH-PER-5,(2007)]. D'un point de vue informatique, le pré traitement des données de géométrie, et le post traitement des résultats fournis par le logiciel LMGC, de façon à répondre aux questions des professionnels (bureaux d'étude ou d'ingénierie) intéressés par le dimensionnement d'ouvrages en maçonnerie en grand appareil à joints secs, ont été des points également abordés dans le travail de thèse.

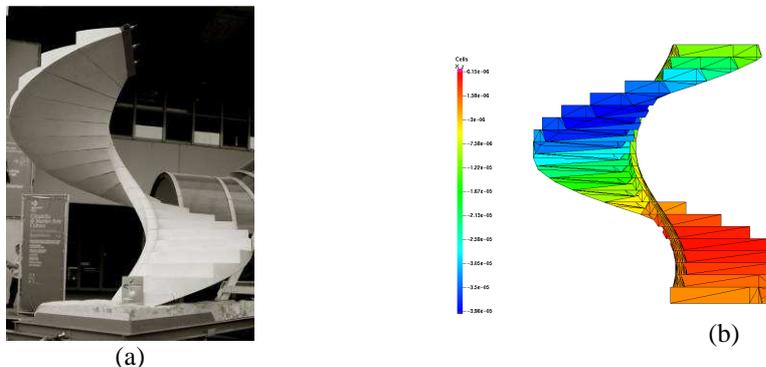


Figure 29 : Escalier de Ridolfi (architecte : prof. D'AMATO, université de Bari, Italie)
(a) escalier précontraint à la Foire de Vérone, 2005 (b) modèle sur LMGC90 [TH-PER-5,(2007)].

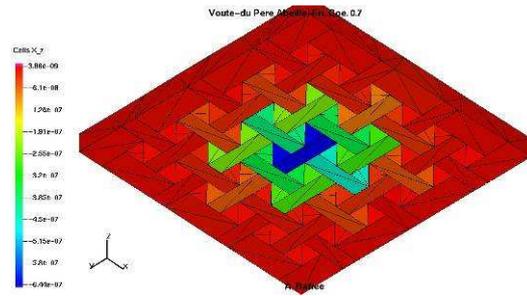
Mise en place d'une technique de levé de l'indétermination des forces de contact dans des contacts plans.

Thèse R. Pérales (2004 - 2007), [TH-PER-5,(2007)], conférences internationales [Réf. 4-13, 4-18].

Dans la suite de ce travail, la comparaison des résultats issus des modèles discrets, traités en utilisant LMGC90, et ceux issus de modèles continus (méthode « des lignes de centres de pression internes ») dans le cadre de la théorie générale du calcul à la rupture reste actuellement à poursuivre. On peut se reporter à l'ouvrage du SETRA « Les ponts en maçonnerie », partie II, qui expose le cadre de ces travaux, dans une perspective historique depuis MERY (1840), les travaux de J. HEYMAN, dans les années 1966 à 1980, et ceux d'Olivier COUSSY et Jean SALENCON (1979) en particulier. Des collaborations que j'ai initiées pour le compte de l'Ecole des Mines d'Alès, avec les Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, notamment par l'intermédiaire des Professeurs D'AMATO et FALLACARA de l'Université de Bari, de Luc TAMBORERO de l'entreprise MECASTONE, en liaison avec l'Ecole d'Architecture de Paris Malaquais, sur le comportement de voûtes plates, devraient conduire à des résultats intéressants.



(a)



(b)

Figure 30 : Voûte plate, dessin de l'abbé Abeille, projet GAIA, Joël SAKAROVITCH et al. , Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, février 2008.

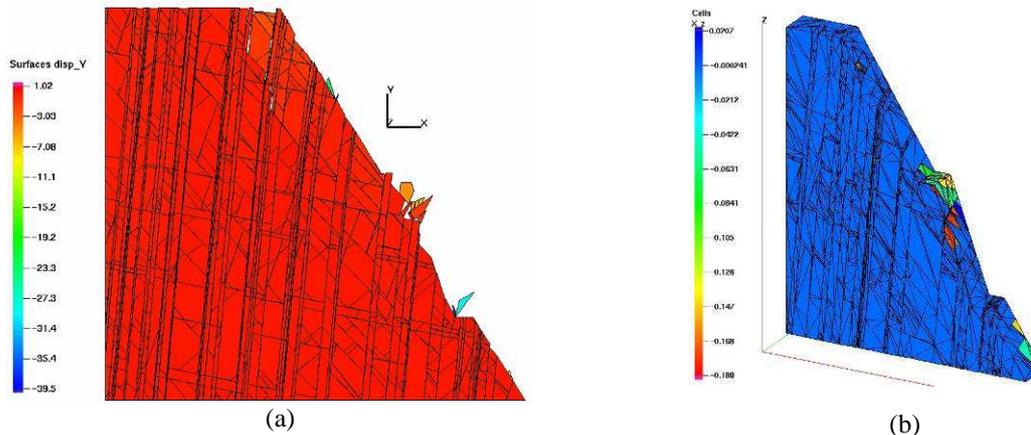
(a) modèle physique instrumenté de la dalle (b) modèle sur LMGC90 (A. Rafiee [TH-RAF-8,(2008)]).

Génération automatique de collections de blocs rigides 3D, pour la modélisation de massifs rocheux fracturés,

Analyse des plans de faiblesse des massifs, traitement sous sollicitations dynamiques périodiques.

Thèse A. Rafiee (2005-2008) [TH-RAF-8,(2008)], conférence internationale [Réf. 4.19], publication nationale [Réf. 2-6]

La communication présentée à la conférence EUROMECH 2008, le 1er juillet 2008, expose, outre les derniers développements effectués sur le calcul des efforts de contact, divers exemples de géométries 2D et 3D traitées sur LMGC90.



(a)

(b)

Figure 31 : Carrière de Souraïde, transfert de géométries de massifs rocheux.

(a) modèle 2D transfert d'Autocad sur LMGC90 (b) modèle 3D(A. Rafiee [Réf. 4-19]).

Au terme de la thèse d'Ali Rafiee, une des phases, à mes yeux importante, en termes opérationnels à destination des bureaux d'étude de génie civil et de géotechnique est la possibilité maintenant acquise de transferts automatisés de géométries de solides 3D, sur LMGC90 [TH-RAF-8,(2008)]. L'étude du comportement de massifs rocheux sous sollicitation sismique est possible (voir la figure ci-dessous), de même que l'analyse de l'indice de mobilisation des divers types de contacts par famille de fracture (voir Figure

33(b)). L'accès à la distribution de ces indices de mobilisation dans l'analyse du comportement mécanique d'un massif rocheux fracturé m'apparaît être très importante pour la détermination de critères de sécurité globaux associés à des conceptions de pentes, ou des schémas de boulonnages dans des massifs rocheux (voir Figure 34).

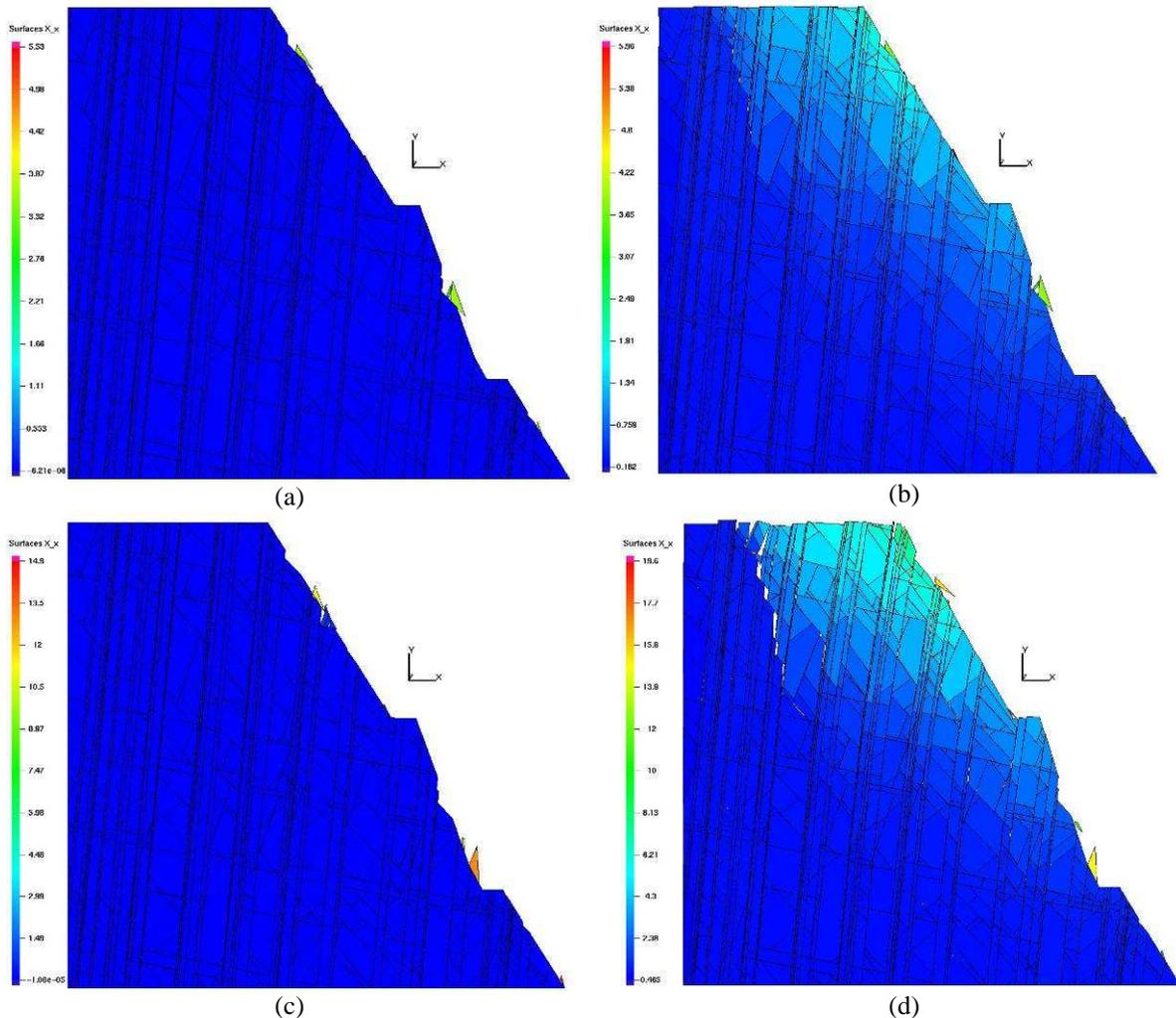
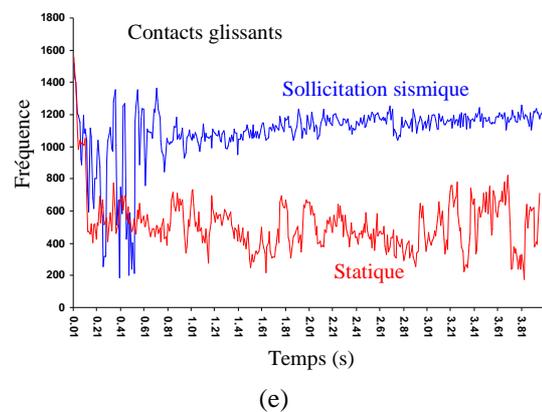


Figure 32 : Déplacement horizontal en mètre pour le modèle 2D de la carrière de Souraïde, (a, b) à $t = 2$ secondes, respectivement pour le cas statique et pour le cas avec vibration sismique, (c, d) à $t = 4$ secondes, respectivement pour le cas statique et pour le cas avec vibration sismique. ([TH-RAF-8,(2008)] Chapitre 5, figure 5.17)



La figure suivante présente la distribution des indices de mobilisation des contacts de type face-face. On peut considérer que 30% de ces contacts, ont un indice de mobilisation supérieur à 0,96. Une présentation en fréquence cumulée plus facilement lisible permet de donner une perception de la proportion des contacts dont les composantes normales et tangentielles sont telles que les points caractéristiques de ces contacts s'approchent du cône de Coulomb, autrement dit, leur marge de sécurité avant glissement est faible.

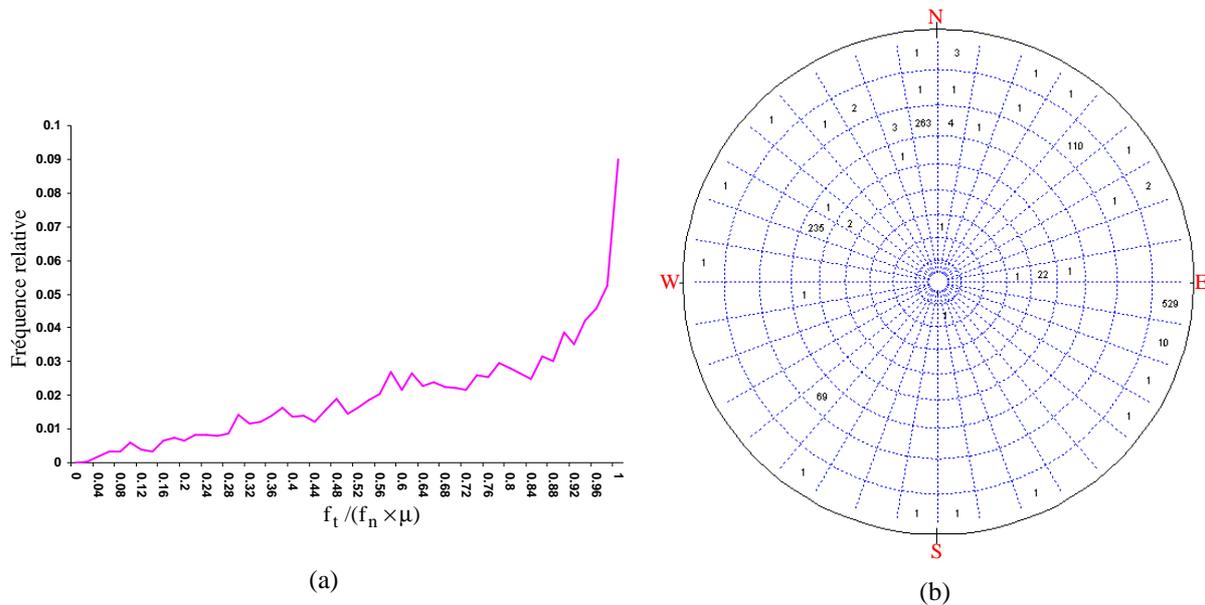


Figure 33 (a) Evolution de la fréquence relative des points de contact par rapport à l'indice de mobilisation pour les 4827 contacts surfaciques détectés, (b) répartition des pôles des surfaces de contact sur la projection hémisphérique supérieure pour des valeurs de l'indice de mobilisation supérieures à 0,9, [Réf. 4-21].

Exemple de mise en place d'un boulonnage sous LMG90.

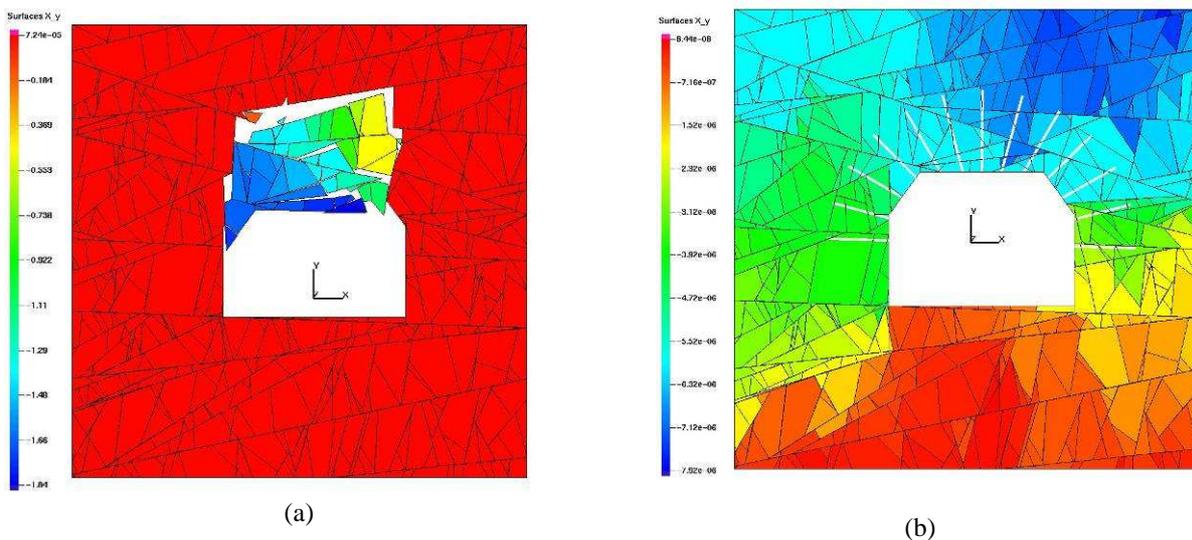


Figure 34 : Exemple de modèle sur le tunnel de Saint-Béat
 (a) section 2D sans boulonnage (b) mise en place d'une densité moyenne de boulons [TH-RAF-8,(2008)]

Comportement de structures de génie civil en grand appareil, sous sollicitation sismique,

A partir de données sismiques enregistrées. Prise en compte de l'appareillage réel.
Thèse A. Rafiee [TH-RAF-8,(2008)] , article dans revue internationale [Réf. 1-5]

A la suite de travaux d'élèves ingénieurs que j'ai encadrés depuis une dizaine d'années sur des ouvrages de génie civil en grand appareil (références PL-Département Génie Civil-2000, 2001, 2004, en annexe C), l'étude de descentes de charges, et du comportement mécanique sous séisme d'ouvrages 3D, reprise dans la thèse d'Ali RAFIEE, (Figure 35), avec un accent sur la prise en compte de séisme réel, est synthétisée dans l'article publié dans la revue Engineering and Structures, dont sont extraites les figures suivantes, [Réf. 1-5].

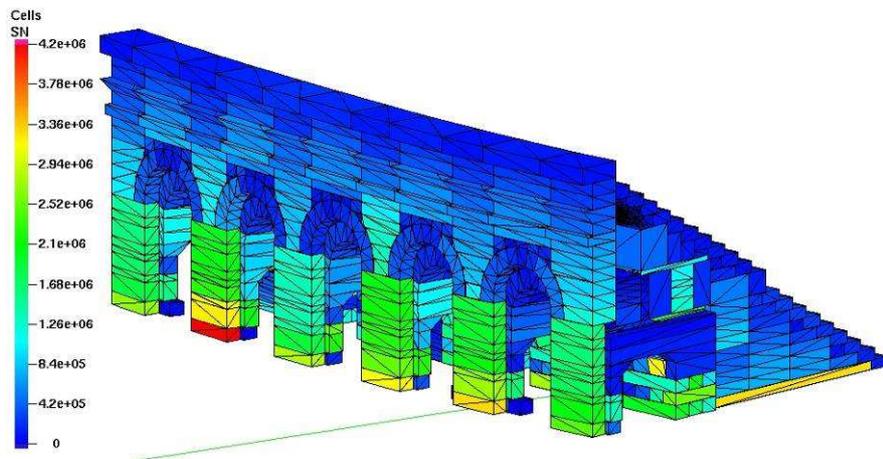


Figure 35: Modèle discret des étages supérieurs de l'amphithéâtre de Nîmes : distribution des forces verticales sur les blocs (en N). (d'après [Réf. 1-5])

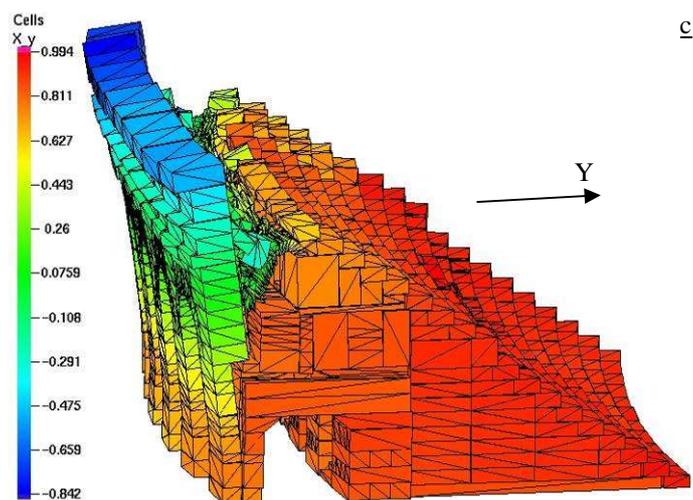
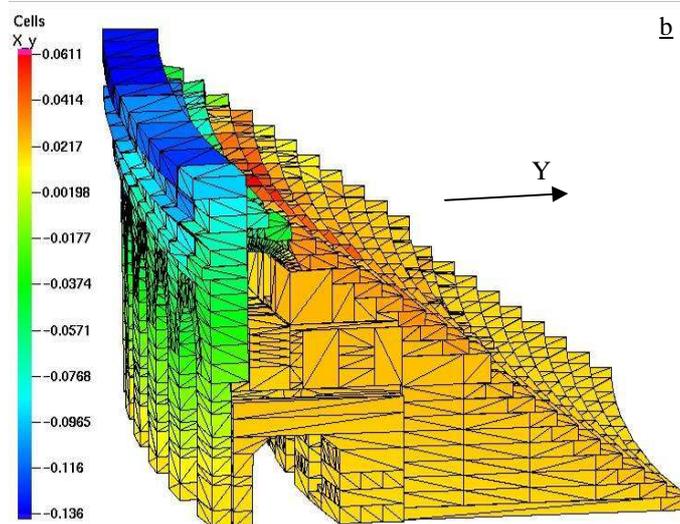
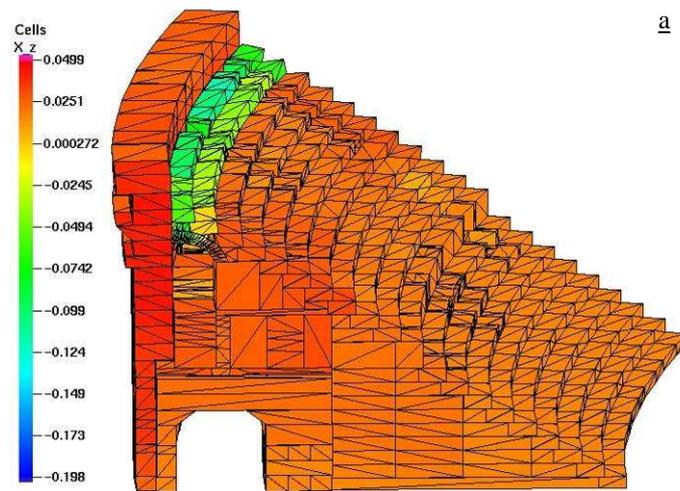


Figure 36: Modèle 3D rigide de l'amphithéâtre de Nîmes, sous sollicitation sinusoïdale (a) déplacement vertical après deux secondes, (b) déplacement dans la direction Y après deux secondes, (c) déplacement dans la direction Y après trois secondes (d'après [Réf. 1-5])

La Figure 37 suivante, extraite de l'article de l'International Journal of Engineering and Structures, présente le spectre du tremblement de terre de Zanjiran, en Iran, le 20 Juin 1994, un tremblement de terre d'une magnitude d'environ 6,1 Mb. Il a été appliqué à un modèle 3D de l'aqueduc d'Arles, reprenant la géométrie de l'ouvrage reconstruit au II^e siècle.

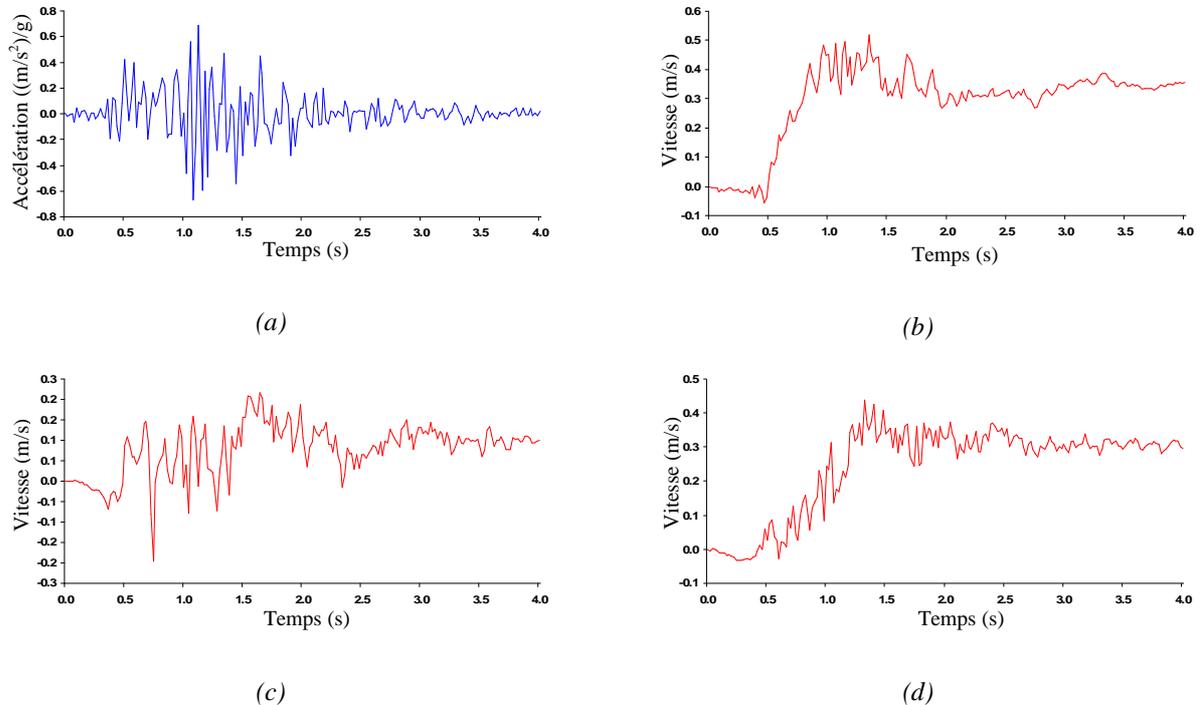


Figure 37 : Accélérogramme du tremblement de terre de Zanjiran : (a) accélération verticale du terrain, exprimée en g (9,81 m/s²), (b) vitesse verticale au sol (m/s), direction Z, (c) vitesse horizontale (m/s) dans la direction de X, horizontale perpendiculaire au plan de coupe (d) vitesse horizontale (m/s) dans la direction de Y, présentée Figure 36. [Réf. 1-5]

Le résultat sur deux arches est présenté dans la figure 38 suivante. On y constate des désordres apparents similaires à ceux observés sur l'ouvrage réel, et on remarque l'ouverture des joints plus marquée au niveau des piles de l'ouvrage qu'à celui des clés des arches. Les observations sur site, sur certaines piles, rendent compte du même phénomène.

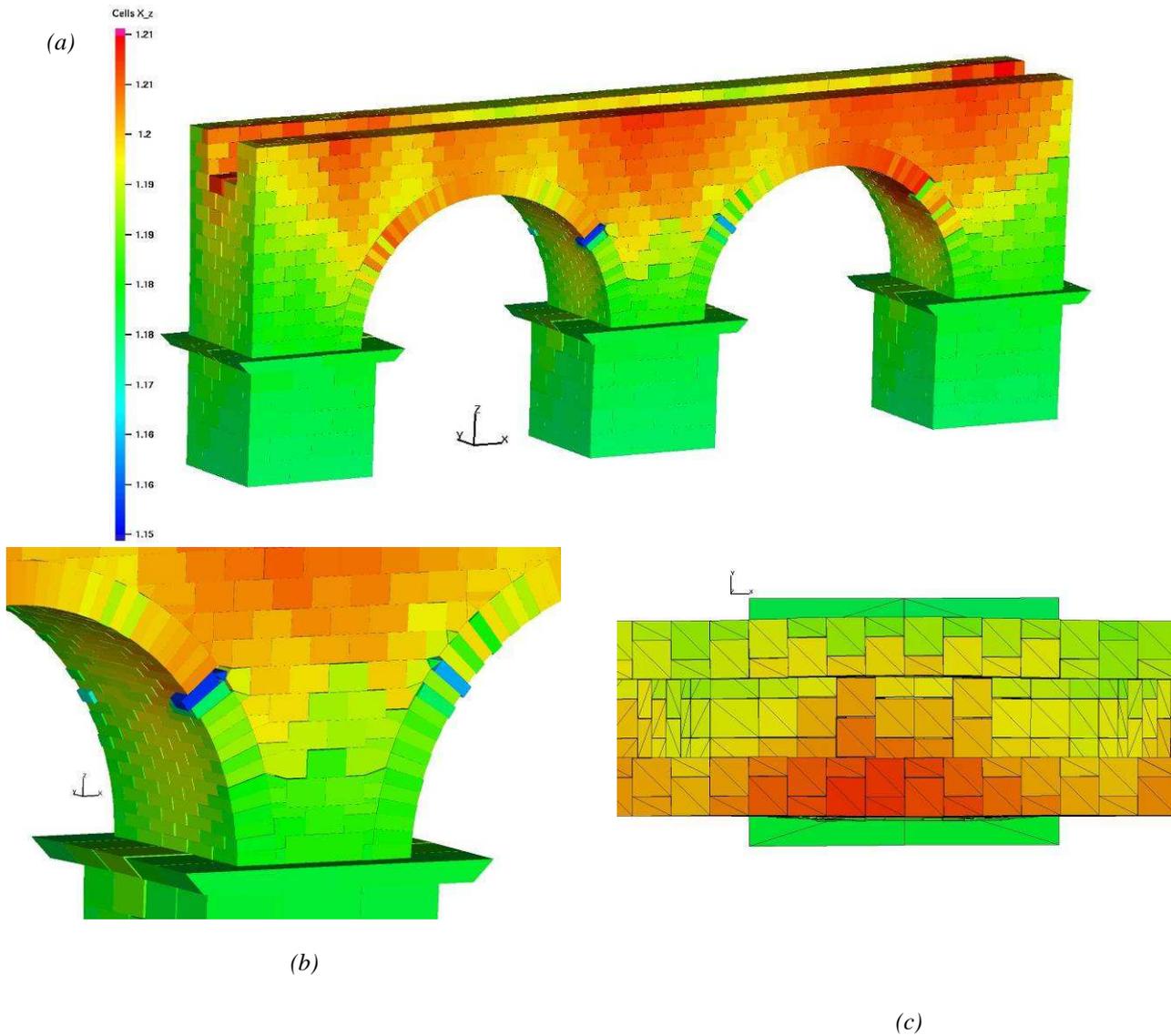


Figure 38 : Modèle 3D rigide, les déplacements verticaux (en mètre) à la suite de quatre secondes des vibrations sismiques réelle (a) au bout de quatre secondes, (b) vue rapprochée sur l'arche centrale (c) vue de dessus du piler central. (extrait de la thèse d'Ali Rafiee [TH-RAF-8,(2008)])

PERSPECTIVES :

Les activités de recherche que je compte poursuivre s'incrivent naturellement dans les axes de :

- la caractérisation spatiale des phénomènes naturels, comme des réseaux de fractures en massifs rocheux, l'apparition de motifs apparemment structurés à une certaine échelle dans des instabilités gravitaires, ou encore l'étude de phénomènes météorologiques extrêmes.

- la modélisation de structures par milieux discrets. Sont envisagées en particulier la mise au point d'algorithmes nouveaux concernant l'hyperstaticité en cas de liaisons planes sur des polyèdres en trois dimensions, la mise en œuvre de simulations réalistes d'un point de vue mécanique de procédés de construction, et de constitution d'échantillons de milieux granulaires chargés, la prise en compte de sollicitations sismiques dans des modèles discrets, avec traitement des effets de bord aux limites des modèles (absorption d'énergie dans des éléments particuliers), mise au point de pré-processeurs et post-processeurs dédiés métiers pour permettre une diffusion auprès des professionnels des avancées rendues possibles par l'utilisation de méthodes non régulières dans des modèles discrets.

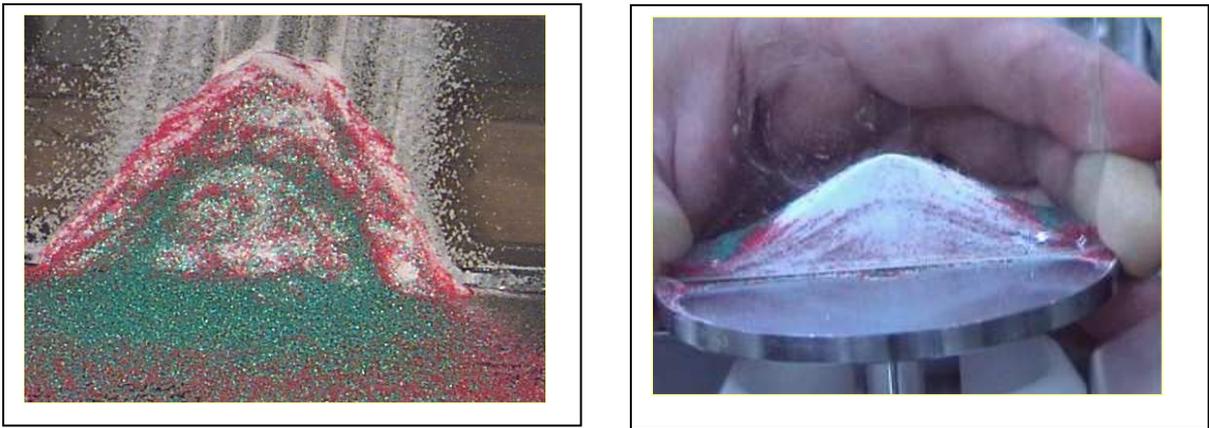
Concernant plusieurs de ces points des expérimentations en laboratoire, et sur des sites industriels réels ont été réalisées, et vont se poursuivre dans le cadre de contrats pluri annuels déjà signés.

Les figures suivantes illustrent quelques thèmes sur lesquels se poursuivront les travaux commencés :

Matériaux modèles (mélange de billes de verre de différentes dimensions), et matériau béton

Je mène, avec l'aide d'enseignants-chercheurs du Centre des Matériaux de Grande Diffusion de l'Ecole des Mines d'Alès, des expériences sur les longueurs caractéristiques de motifs de glissement d'ensembles granulaires modèles. Des simulations sont faites pour tenter d'interpréter et tester la reproductibilité, par la simulation, de ces arrangements particuliers. Des analogies avec des faciès de dépôts dans des milieux géologiques particuliers seront aussi étudiées, en lien avec des géologues du centre (ripple marks, grano classement).

Par ailleurs, une thèse sur l'application de modèles discrets à l'analyse du comportement de divers bétons, soumis à des réactions alcali-silice, est en cours de démarrage (novembre 2009 - octobre 2012).



a) Détail de dépôt sur plan incliné d'un mélange de billes b) Détail d'une section d'un dépôt gravitaire

Figure 39 : Exemple de matériaux modèles.

Simulation de procédés de cuisson d'argiles réfractaires

L'utilisation de la mécanique des milieux discrets doit amener des éléments de réponse pertinents pour un certain nombre d'opérateurs industriels dans le domaine de l'industrie extractive. La figure suivante schématise le passage de boulets dans un four rotatif de calcination de kaolins.

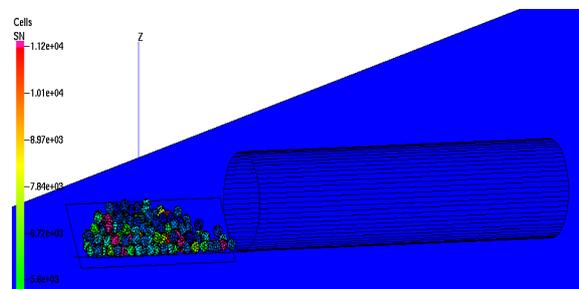


Figure 40 : Modèle d'un écoulement de sphères dans un four rotatif (document Ali RAFIEE)

Simulation de la stabilité de structures maçonnées

Il est envisagé à la suite de travaux exploratoires présentés dans l'article de l'International Journal of Solids and Structures [Réf. 1-6] concernant le comportement d'arches sous sollicitation sismiques, d'analyser les capacités de nouveaux algorithmes basés sur ces concepts de répartition linéaire de contraintes, au regard des algorithmes existants dans LMGC90®.

Le pilotage de travaux de recherche sur le comportement mécanique de la structure et celui du matériau pierre (pierre de Baruthel), en liaison avec le Comité Scientifique de suivi de la restauration des arènes de Nîmes, est en cours de négociation avec la Direction Régionale des Affaires Culturelles.

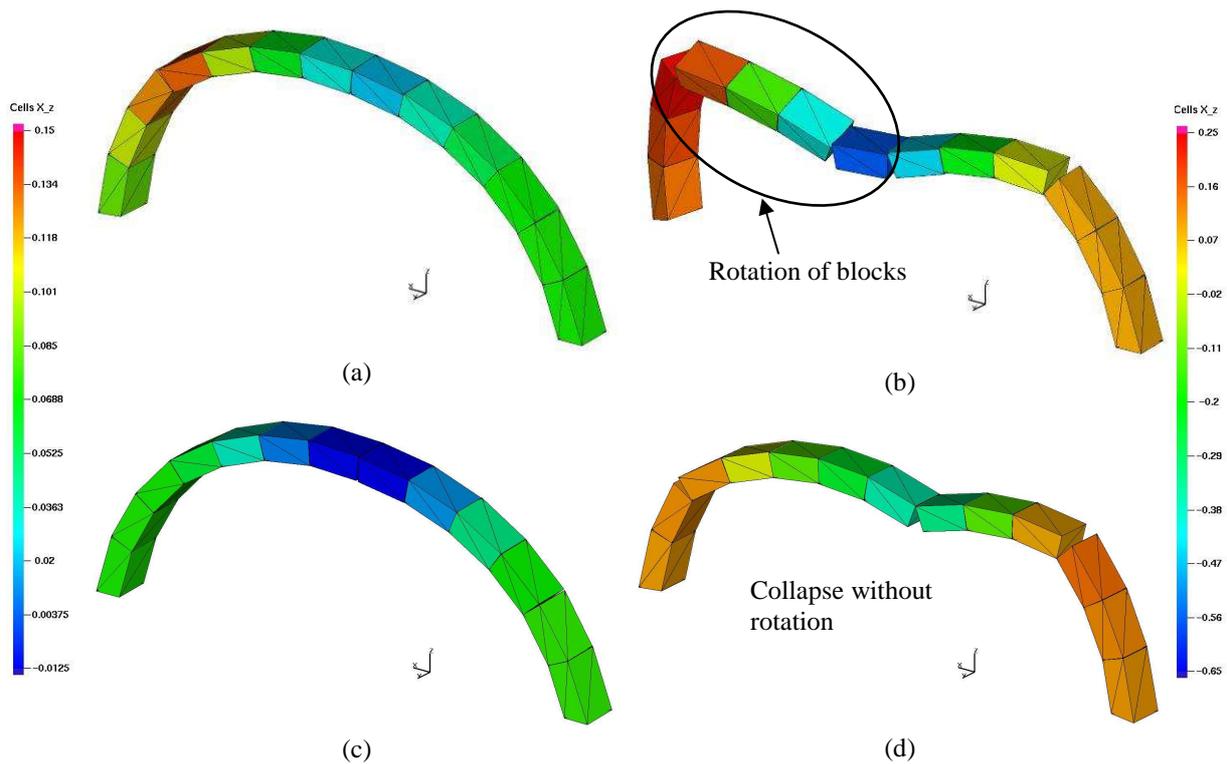


Figure 41 : Modèle de comportement d'arches sous sollicitation sismique réaliste [Réf. 1-6]

Simulation du comportement de massifs rocheux fracturés

Des collaborations avec divers laboratoires français sont envisagées sur la problématique du comportement de massifs rocheux fracturés, en utilisant des modèles par éléments discrets. Les mises en place de ces modèles, notamment des cas de chargement réalistes, avec une analyse de l'influence des historiques de chargement des modèles, la simulation de séquences d'excavation, en souterrain ou en ciel ouvert, la simulation de diverses techniques de soutènement (boulons, cadres, protections par filets), la mise en œuvre de procédés de post-traitement en lien avec les préoccupations des entreprises ou bureaux d'étude et de conseil dans ces domaines, sont autant de possibilités de travaux complémentaires, sur lesquels je souhaite m'engager. Une thèse démarre sur financement du gouvernement vietnamien, sur la période 2010-2013.

REFERENCES :

[CHI-1987] CHILES J.P. : *Three-dimensional geometric modelling of fracture network*. DOE/AECL'87 Geostatistical sensitivity and uncertainty methods for ground-water flow and radionuclide transport modeling. SAN FRANCISCO, sept. 15-17 , 1987.

[DUN-2000] DUNAT X, *Modélisation du couplage hydromécanique d'un joint rocheux sous contrainte normale avec jeu réduit de données*. Rapport de recherche EMA, déc. 2000.

[GOO-1985] GOODMAN R., SHI G.H. *Key bock theory and its application to rock engineering*. W.J. HALL Editor, 338 pages, 1985.

[GUG-1999] GUGLIELMI Y. : *Apport de la mesure des couplages hydromécaniques à la connaissance hydrogéologique des réservoirs fracturés : approche sur site expérimental*. Habilitation à diriger des Recherches, Université de Besançon, 153 pages, 1999.

[GUII-1986] GUILMOUR H.M.P., BILLAUX D., LONG J. : *Models for calculating fluid flow in randomly generated three-dimensional networks of disc-shaped fractures*. Lawrence Berkeley Laboratory, report 19515, sept. 1986.

[HAB-1974] HABIB P. : *Mécanique des sols et des roches*, Annexe du Fascicule 1, Rhéologie, du Cours de J. MANDEL, Ecole des Mines de Paris, 21 pages, 1974.

[JIM-2006] : JIMENEZ-RODRIGUEZA R., SITARA N. : *A spectral method for clustering of rock discontinuity sets*. Int J Rock Mech Mining Sci, 43: p. 1052-1061, 2006.

[LON-1970] LONDE P., VIGIER G., VORMERINGER R. : *Stability of rock slopes. Graphical methods*. Journal of the Soils Mechanics and Foundation Division, Proceedeings of the ASCE, pp1411-1434, juillet 1970.

[MAN-1974] MANDEL J., *Sciences des Matériaux, Fascicule 1 : rhéologie, Fascicule 2 : plasticité et poussée des terres*, Cours de l'Ecole des Mines de Paris, 1974.

[MAS-1987] MASSOUD H., *Modélisation de la petite fracturation par les techniques de la géostatistique*. Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 138 pages, 1987.

[MOR-1999] MOREAU J.-J. : *Some basics of unilateral dynamics*, IUTAM, Symposium on unilateral multibody contacts, pp 1-14, ISBN 0- 7923_6030-3, 1999.

[MOR-2000] MOREAU J.-J. : *Contact et frottement en dynamique des systèmes de corps rigides*. Revue européenne des Eléments Finis, vol. 9, pp. 9-28, 2000.

[PRI-1993]. PRIEST S.D. : *Discontinuity analysis for rock engineering*. London: Chapman & Hall; 1993.

[RAF-2008] RAFIEE A., VINCHES M. : *Application of geostatistical characteristics of rock mass fracture systems in 3D model generation* Int J Rock Mech Min Sci;45, pp 644-652,2008.

[RAM- 2005] RAMANANANTOANDRO T. : *Implications tactiles et visuelles de la rugosité du bois et des matériaux*. Thèse de doctorat, Ecole doctorale : Génie des Procédés, Ecole des Mines de Saint-Etienne, soutenue le 4 juillet 2005.

[SAL-1999] SALENCON J., *Conférence inaugurale*, Compte rendu du 9^o congrès mondial de l'Association Internationale de Mécanique des Roches, Paris, Vol. 3, p. 1495, ISBN 90 5809 072 8, 1999.

[THE-1998] THERNOT R. : *Ponts-aqueducs du Vallon des Arcs, commune de Fontvieille, Bouches-du-Rhône – Synthèse des données architecturales, d'après les fouilles et les recherches dirigées par Philippe LEVEAU*. Rapport à la DRAC PACA, Vol 1 : texte, 46 pages, Vol. 2 : documentation graphique, 98 pages, septembre 1998.

[VAL-2004] VALLAT B., LIM H., GANDOLIN M. : *Modélisation 3D d'un massif rocheux*, Projet Long, Ecole des Mines d'Alès, 2003 – 2004

ANNEXES

ANNEXE A : LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

1. Revues internationales à comité de lecture : 7 articles publiés, 1 soumis

- 1-1 M. Vinches (1991): New ways for concrete: high performance concrete. *Int. Journal for Housing Science and its applications*. vol. 15, n°1, pp.15.22, 1991.
- 1-2 B. Chetouane, F. Dubois, M. Vinches, C. Bohatier (2005): NSCD discrete element method for modelling masonry structures, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 64, issue 1, p. 65-94, 7 sept. 2005, référence DOI: 10.1002/nme.1358 (**Impact factor 2006: 1,497**)
- 1-3 H Jourde, P. Fénart, M. Vinches, S. Pistre, B. Vayssade (2007): Relationship between the geometrical and structural properties of layered fractured rocks and their effective permeability tensor. A simulation study. *Journal of Hydrology (2007) Volume 337, Issues 1-2, 15 April 2007, Pages 117-132* (référence DOI: 10.1016/j.hydro.2007.01.027) (**Impact factor 2006: 2,117**).
- 1-4 A. Rafiee, M. Vinches (2008): Application of Geostatistical Characteristics of Rock Mass Fracture Systems in 3D Model Generation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Volume 45, p. 644-652, 2008 (référence: doi:10.1016/j.ijrmmms.2007.09.009) (**Impact factor 2006: 0,624**)
- 1-5 A. Rafiee, M. Vinches, C. Bohatier (2008): Modelling and analysis of the Nîmes arena and the Arles aqueduct subjected to a seismic loading, using the Non-Smooth Contact Dynamics method, *Journal of Engineering Structures*, volume 30, number 12, p. 3457-3467, december 2008. (référence DOI : 10.1016/j.engstruct.2008.05.018) (**Impact factor 2006: 0,813**)
- 1-6 A. Rafiee, M. Vinches, C. Bohatier (2008): Application of the NSCD method to analyse the dynamic behaviour of stone arched structures. *Int. Journal of Solids and Structures*, volume 45, issues 25-26, p. 6269-6283, dec.15 2008 (référence DOI : 10.1016/j.ijsolstr.2008.07.034) (**Impact factor 2006 : 1,529**).
- 1-7 J. Montmain, C. Sanchez, M. Vinches : Multi criteria analyses for managing motorway company facilities : the Decision Support System SINERGIE. *Advanced Engineering Informatics*, version définitive disponible en ligne 12 janvier 2009, (référence doi:10.1016/j.aei.2008.12.001) (**Impact factor 2007: 1.172**)

Publication soumise

- 1-8 R. Pérales, M. Vinches, M. Nemoz-Gaillard, C. Bohatier: A new contact detection algorithm for three-dimensional masonry structures. *Soumis à Computers and Structures*, sous le numéro CAS-D-07-00259, en cours de révision (**Impact factor 2006: 0,846**).

2. Revues nationales avec comité de lecture : 5 articles publiés, 1 accepté

- 2-1 M. Vinches, Application combinée de l'analyse structurale, de la géostatistique, et de la théorie des blocs clés, à l'étude des problèmes de stabilité et de confortement des travaux miniers, *Revue Française de Géotechnique*, n° 45, pp59-70, oct. 1988.
- 2-2 M. Vinches, Application combinée de l'analyse structurale, de la simulation de réseaux de fractures, et de la théorie des blocs-clés, à l'étude de la stabilité de blocs rocheux isolés, *Studia Geotechnica et Mechanica*, Pologne, PL ISSN 0137-6365, Vol. XI, n° 3-4, pp. 48-55, 1989.
- 2-3 P. Adamiec, M. Nemoz-Gaillard, M. Vinches, J.-C. Benezet : Etude expérimentale de la compacité de mélanges ternaires de grains secs : assemblages granulaires modèles et réels. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées* N° 254, réf. 4526, janv./fév./ mars 2005, pp 75-84.
- 2-4 C. Sanchez, B. Mahieu, J. Montmain, M. Vinches : Système interactif d'aide à la décision pour la gestion du patrimoine d'une société d'autoroute. *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, N° 265, oct./nov./dec. 2006, pp. 89-108.
- 2-5 R. Pérales, M. Vinches, C. Bohatier : Modélisation par éléments discrets d'ouvrages 3D en génie civil. Application de la méthode Non Smooth Contact Dynamics. *Revue Européenne de Génie Civil*, vol. 11, numéro 9-10/2007, pages 1169-1185.

- 2-6 A. Rafiee, M. Vinches, C. Bohatier : Comportement mécanique d'un massif rocheux fracturé considéré comme une collection d'éléments discrets : apports de la méthode Non-Smooth Contact Dynamics. *Soumise à la Revue Française de Géotechnique (M. Pouya, coordinateur d'un numéro spécial consacré à la modélisation de massifs rocheux) 10 mars 2008, épreuves renvoyées à l'éditeur en sept. 2009.*

3. Revues professionnelles ou de diffusion de la connaissance : 2 articles

- 3-1 N. Ricard, D. Lafon, **M. Vinches** : Analyse d'images combinées pour l'estimation d'un gisement d'andalousite, *Revue de l'Industrie Minérale*, pp. 51-54, janvier 1999.
- 3-2 **M. Vinches**, B. Chetouane : Un modèle de solidité - Vie et mort de l'aqueduc de Nîmes. *Pour la Science, (version française de American Scientific) N° 02687, pp. 56-57 - août 2004.*

4. Actes de congrès internationaux avec comité de lecture : 22 articles

- 4-1 **M. Vinches**, F. Wojtkowiak : Application combinée de l'analyse structurale et de l'instrumentation "in situ" au dimensionnement du soutènement par câbles d'ancrage. *7^e congrès mondial de la Société Internationale de Mécanique des Roches.*, vol. 2, pp. 1243-1246, AACHEN, 16-20 septembre 1991.
- 4-2 D. Raffard, Ph. Leveau, **M. Vinches**, M. Goutouli, JP. Henry, R. Thernod : The building of Roman aqueducts : financial difficulties and technological problems. The case of the Arles aqueduct. *CURA AQUARUM IN SICILIA: ANNUAL PAPERS ON CLASSICAL ARCHAEOLOGY, SUPPLEMENT 6 - 2000. Proceedings of the Tenth International Congress on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region, SYRACUSE - 16 - 22 may 1998, pp 125-133, Editor Gemma C.M. Jansen, PEETERS, 2001, Article Number : ISSN 0165-9367.*
- 4-3 X. Dunat., M. Sibai., **M. Vinches**, J.P. Henry : Modelling of hydromechanical coupling in rock joints. *Symposium MJFR3. Balkema Ed. pp. 62-63, WIEN 1998*
- 4-4 X. Dunat, M. Bart, J.F. Shao, **M. Vinches** : Influence of the stress field on the flow in rock joints. *9^e congrès mondial de la Société Internationale de Mécanique des Roches, vol. 2, pp 887-892, PARIS, 23-28 Août 1999.*
- 4-5 B. Chetouane, C. Bohatier, F. Dubois, **M. Vinches** : Stress and strain tensors in granular medium. Application to masonry structures. *Proceedings of the 2003 ASME Int. Design Eng. Tech. Conf., CHICAGO, 2-6 septembre 2003.*
- 4-6 B. Chetouane, **M. Vinches** C. Bohatier, F. Dubois,: Some examples of real masonry structures modeling by 3DNSCD discrete element method. *Proceedings of the 2004 ASME Int. Design Eng. Tech. Conf., Salt Lake City, Utah, 28 september – 2 october 2004.*
- 4-7 B. Chetouane, C. Bohatier, **M. Vinches** : Mixed deformable/rigid NSCD discrete element method for the modelling of masonry structures. *Proceedings of European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2004., Jyvaskyla, FINLAND, 24-28 July 2004.*
- 4-8 M. Koneshloo, **M. Vinches**, J.P. Rolley : Modelling of sedimentary deposits of kaolin clays, in continental environment : application to the Charentes deposits. *Communication proceedings réf. : 1100, 20th World Mining Congress, Téhéran, 7 au 11 novembre 2005.*
- 4-9 C. Bohatier, B. Chetouane, **M. Vinches** : Dynamic effects in stress analysis for discrete elements modeling Application to masonry. *Proceedings of IDETC/CIE 2005 ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, Ref IDETC-84779, 5th International Conference on Multibody Systems, Nonlinear Dynamics, and Control, Long Beach, California, USA, September 24-28, 2005, VOL 6, PTS A-C , pages: 2031-2035.*
- 4-10 C. Sanchez, J. Montmain, **M. Vinches**, B. Mahieu : An Information Processing System for Patrimony Management. *18th International Conference on multiple criteria decision making, Chania, Greece, 19-23 june 2006.*
- 4-11 R. Pérales, F. Dubois, **M. Vinches**, C. Bohatier : Numeric Strategies Adapted to Modelling Civil Engineering Discrete Structures. Colloque LAGRANGE, du 6 au 10 décembre 2006 – Scilla, Italie.
- 4-12 C. Bohatier, **M. Vinches**, R. Pérales, M. Némoz-Gaillard : Contact surface element for the discrete element method : application to masonry modelling. *communication orale, Proceedings Fifteenth International Conference on COMPOSITES/NANO ENGINEERING (ICCE - 15) Haikou, China, 15-21 July 2007*

- 4-13 R. Péralès, C. Bohatier, **M. Vinches**, M. Nemoz-Gaillard : New developments on the distinct element modelling using the NSCD method. *ECCOMAS thematic conference COMPDYN 2007, 13-15 June 2007, Rethymno, Greece.*
- 4-14 A. Rafiee, **M. Vinches**, C. Bohatier : Application of the NSCD method to the modelling of a fractured rock mass under seismic events. *ECCOMAS thematic conference COMPDYN 2007, 13-15 June 2007, Rethymno, Greece.*
- 4-15 C. Sanchez, J. Montmain, **M. Vinches**, B. Mahieu : A multi criteria evaluation over a finite scale for maintenance activities of a motorway operator. *ICINCO 2007, 4th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Angers, France, 9 – 12 mai 2007.*
- 4-16 C. Sanchez, J. Montmain, **M. Vinches**, B. Mahieu : Un Système d'Aide à la Décision pour l'Evaluation et la Gestion du Patrimoine de la Société d'Autoroutes Escota. *CIGI 2007, 7^{ème} Congrès international de génie industriel, Trois-Rivières, Québec, Canada, 5 – 8 juin 2007.*
- 4-17 C. Sanchez, J. Montmain, **M. Vinches**, B. Mahieu : The Escota "SINERGIE" project : a hierarchical multicriteria evaluation process over Conférences internationales avec actes et comité de lecture finite scales for maintenance activities. *65th Euro working group workshop on Multi Criteria Decision Aiding, (MCDA'65), Poznan, Poland, 12 -14 april 2007.*
- 4-18 A. Rafiee, **M. Vinches**, C. Bohatier, R. Péralès, F. Dubois : Modélisation par éléments discrets de structures en grand appareil. *Colloque Lagrange 2007, 6-8 décembre 2007, Ecole Polytechnique – Palaiseau, Ferme des vallées Aufargis*
- 4-19 C. Bohatier, A. Rafiee, **M. Vinches** : Surface contact with friction between polyhedral discrete elements. *6th Euromech Conference ENOC 2008, 30 June – 4 July 2008, Saint-Petersbourg, Russia*
- 4-20 A. Rafiee, **M. Vinches**, C. Bohatier : Application of the NSCD method to the stability analysis of jointed rock masses *21st World Mining Congress, Krakow-Katowice, Poland, 7-11 September 2008.*
- 4-21 A. Rafiee, **M. Vinches** : Combination of the geostatistical analysis and the geo-structural clustering method to generate a 3D stochastic model of fractured rock masses. *Eighth International Geostatistics Congress, Santiago, Chili 1-5 Décembre, 2008, Vol. 1, pp. 515-524.*
- 4-22 **M. Vinches**, A. Rafiee, C. Bohatier : Numerical analysis of the mechanical behavior under seismic loading of discrete element structures : application to 3D fractured rock masses and large stone course buildings. *ECCOMAS thematic conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, COMPDYN2009, Greece, 22-24 June 2009.*

5. Actes de congrès nationaux avec comité de lecture : 7 articles

- 5-1 **M. Vinches**, R. Curunet, P. Adamiec, Ch. Buisson : Amélioration de la durabilité et des propriétés physiques et mécaniques des bétons par incorporation de fines, et procédés de mise en pression : perspectives industrielles en préfabrication. *Comptes rendus du XIX^e congrès mondial de l'IAHS, vol 2, pp.521-526, ALES, 23-27 septembre 1991.*
- 5-2 **M. Vinches** : Influence de la vitesse de chargement et de la compacité des bétons sur leur comportement en compression simple dans les domaines de pré et post rupture. *Comptes rendus du Colloque René Houpert, Structure et comportement mécanique des géomatériaux, pp. 471-476, NANCY, 10-11 septembre 1992*
- 5-3 **M. Vinches**, D. Raffard, P. Hernandez, JP Henry : Recherches menées sur l'aqueduc d'Arles. *Archéosismicité et Vulnérabilité du bâti ancien. Actes des IV^o rencontres du groupe APS, Dépôt Légal: 2^o trimestre 2000, N^o ISBN : 2-9515025-0-8, pp. 21-25.*
- 5-4 B. Chetouane, C. Bohatier, F. Dubois, **M. Vinches** : Tenseurs de contraintes et de déformations dans un milieu granulaire - applications au cas des maçonneries. *Communication orale, Congrès Français de Mécanique, NICE, 1-5 Septembre 2003.*
- 5-5 Chetouane B., **Vinches M.**, Dubois F., Bohatier C., Devillers Ph., Nemoz-Gaillard M. Analyse comparée de différentes modélisations du comportement au séisme de monuments en pierre sèche. *Archéosismicité et Vulnérabilité. Patrimoine bâti et Société. Actes des VI^o et VII^o rencontres du groupe APS, mars 2008, N^o ISBN 978-2- 9515025-2-9, pp 113-126.*
- 5-6 Perales R., **Vinches M.**, Bohatier C. Etablissements recevant du public en pierre massive : apports des modélisations discontinues. *Archéosismicité et Vulnérabilité. Patrimoine bâti et Société. Actes des VI^o et VII^o rencontres du groupe APS, mars 2008, N^o ISBN 978-2- 9515025-2-9, pp 189-197*
- 5-7 A. Rafiee, **M. Vinches**, C. Bohatier : La méthode NSCD (Non-Smooth Contact Dynamics) appliquée à la simulation du comportement mécanique des massifs rocheux fracturés. *AUGC, - 26^{èmes} rencontres Universitaires de Génie-Civil, Nancy, 4 - 6 juin 2008, réf. AUGC2008-150.*

6 . Congrès internationaux ou nationaux, avec actes à diffusion restreinte : 8 articles

- 6-1** M. Vinches , J.L. Leguet, J. Dugat : The amphitheatre of Alès School of Mines : experimental building for high performance concrete, *3rd int symposium on utilisation of high - strength concrete, LILLEHAMMER, Norvège, 20 –24 juin 1993.*
- 6-2** D. Oulahna , M. Vinches, A. Benhassaine : Conception et dimensionnement de barrières de confinement des déchets : analogues naturels et approche minéralurgique, *Comptes rendus du 4^{ème} Colloque Franco-Polonais Géotechnique et Environnement, pp. 265-276, NANCY, 15-19 novembre 1993.*
- 6-3** B.Chetouane, M. Vinches, C. Bohatier, P. Devillers, M. Nemoz-Gaillard : Contribution à l'étude de monuments antiques par modèles discrets. *Colloquium Lagrangianum, RAVELLO, 7 – 9 novembre 2002.*
- 6-4** B.Chetouane, M. Vinches, F. Dubois, C.Bohatier : Micro-modélisation des ouvrages maçonnés par approche combinée éléments finis/ éléments discrets. *Actes des communications au séminaire du laboratoire de Génie Civil LGC ENIT Hammamet, Tunisie, 1er mars 2004.*
- 6-5** C. Bohatier, B. Chetouane, M. Vinches : Définitions de grandeurs macroscopiques pour l'analyse de l'évolution des milieux discrets. - Application aux ouvrages maçonnés. *Premier Congrès International Conception et Modélisation des Systèmes Mécaniques, CMSM'2005, Hammamet, Tunisie, 23 – 25 mars 2005.*
- 6-6** B. Chetouane, M. Vinches, C. Bohatier : Modélisation par approche discrète de structures discontinues de génie civil. *Premier Congrès International Conception et Modélisation des Systèmes Mécaniques, CMSM'2005, Hammamet, Tunisie, 23 – 25 mars 2005.*
- 6-7** R. Pérales, M. Vinches, F. Dubois, C. Bohatier : Modélisation par éléments discrets d'ouvrages en génie-civil. La méthode "Non Smooth Contact Dynamics" *AUGC - 24èmes rencontres Universitaires de Génie-Civil - la Grande-Motte (2006).*
- 6-8** C. Bohatier, M. Vinches, B.Chetouane, R. Péralès, A. Rafiee :Modélisation des répartitions des efforts dans les assemblages de pierre massive dans le bâti ancien: levée des indéterminations locales. *Journée scientifique du laboratoire Lagrange, Développements scientifiques autour des problèmes posés par le bâti ancien. 7 novembre 2008, Vaulx-en-Velin.*

7. Communications, séances de travail de sociétés savantes ou diffusion de connaissances (conférence invitée) : 13 interventions.

- 7-1** Ph. Weber, M. Vinches, Etude de la stabilité de massifs rocheux fracturés. *Séance du Comité Français de Mécanique des Roches, 3 décembre 1987, PARIS. (présentation M. Vinches)*
- 7-2** M. Vinches, P.Choquet, F. Fojtkowiak, Renforcement d'ouvrages miniers par câbles. *Congrès national de l'Industrie Minérale, 27-29 septembre 1989, ALES (présentation M. Vinches)*
- 7-3** M. Vinches, Relevé de la fracturation d'un massif rocheux fissuré, et biais humain, illustration sur le site des Bondons. *Ecole d'été abattage des roches à l'explosif, septembre 93, ALES.(présentation M. Vinches)*
- 7-4** M. Vinches, Modélisation de la stabilité de la carrière souterraine de Conques. *1^{ères} rencontres nationales du réseau de laboratoires GEO 1994. AUSSOIS, 21-25 novembre 1994. (présentation M. Vinches)*
- 7-5** M. Goutouli, H. Treziny, M. Vinches : Les fortifications de la Bourse à Marseille - *Colloque "la Pierre : archéologie, architecture, développement local", Ecole des Mines d'Alès, pp. 66-69, 5-6 juin 1997, ALES, (présentation M. Vinches).*
- 7-6** D. Raffard , M. Vinches, P. Gaudon, JP. Henry : Étude physique de mécanique des maçonneries - Les sciences appliquées à l'archéologie monumentale, *Journée du CERIAN 18 juin 98 – Univ. Louis Lumière Lyon 2 (présentation M. Vinches).*
- 7-7** X. Dunat, M. Vinches, JP Henry : Etude du comportement hydromécanique d'un joint rocheux sous contrainte normale. *Séance du Comité Français de Mécanique des Roches, 14 octobre 1999, PARIS.*
- 7-8** M. Vinches : Pierre et construction : approche par la mécanique des matériaux. *Actes du colloque construire en pierre massive, ISRFMP, soutenu par le Fonds Social Européen, pp.108-125, RODEZ, 29 et 30 octobre 1999 .*
- 7-9** X. Dunat., J.P. Henry, M. Vinches : Développement d'un modèle de couplage hydromécanique en milieux fracturés avec calage sur données partielles. *Actes du GdR FORPRO, 11 Décembre 2000, Paris (France).*
- 7-10** F. Dubois, M. Vinches : Modélisation par éléments distincts d'ouvrages en génie civil. La méthode 'Non Smooth Contact Dynamics ». *Formation IPSI « Problèmes avec contact » , 17 juin 2003. (présentation M. Vinches, et F. Dubois)*
- 7-11** M. Vinches : La construction en pierre en zone sismique. *5^o rencontre matériaux du Grand Rodez, l'Architecture en pierre dans le bassin méditerranéen. 28 –29 novembre 2003, RODEZ (présentation M. Vinches).*

- 7-12 M. Vinches**, A. Rafiee, R. Pérales, B. Chétouane : Calcul de structures en pierres massives : apports des modèles discrets. *Journée technique de l'Industrie Minérale, et du SNROC, avec la participation de la revue Pierre Actual. Ecole des Mines de Paris, 7 novembre 2007 (présentation M. Vinches).*
- 7-13 M. Vinches**, A. Rafiee, C. Bohatier : Discrete element modeling of the mechanical behavior of ordinary houses and masonry structures, taking into account recorded earthquake accelerograms. *Provence'2009, Seismic risk in moderate seismicity area from hazard to vulnerability, Aix-en-Provence, France, 6-8 juillet 2009*

8 . Rapports scientifiques (10)

- 8-1 M. Vinches** : Comportement à la rupture et structure des géomatériaux : cas des bétons en compression simple. *Mémoire de DEA, Génie Géologique et Minier de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Option : Techniques et Economie de l'Entreprise, soutenu, le 16 juin 1986, 62 pages, hors bibliographie et annexes.*
- 8-2 M. Vinches**, F. Wojtkowiak : Stabilité et confortement d'ouvrages miniers - développement de méthodes de dimensionnement fondées sur l'étude géostatistique de la fracturation et sur la méthode des blocs-clés - Application au boulonnage par câbles. *Rapport d'avancement des travaux, avril 89. Cote: BRGM 89 BEL 083 GEG. (Thèse Marc Vinches ENSMP)*
- 8-3 M. Vinches**, P. Wyniecki, A. Stefanini : Etude du comportement thermo - mécanique de structures de génie civil - *RT99/CT99-(019-030)/02 du 06/01/2000*
- 8-4 M. Vinches**, P. Wyniecki, A. Stefanini : Etude du comportement thermo - mécanique de structures de génie civil - *RS00/CT00-007/02 du 05/12/2000*
- 8-5 M. Vinches** : Etude du comportement mécanique de planchers en béton armé utilisant la technique des prédalles précontraintes - *RS00//CT99-039/B/03 du 11/01/2001*
- 8-6 M. Vinches**, Ch. Buisson, P. Wyniecki, A. Stefanini : Etude du comportement thermo - mécanique de structures de génie civil – *RS02//CT00-146/07 du 30/09/2002*
- 8-7 M. Vinches**, Ch. Buisson, P. Wyniecki, A. Stefanini : Etude du comportement thermo - mécanique de structures de génie civil – *RS02//CT00-147/1 du 29/11/2002*
- 8-8 M. Vinches**, A. Johannet : Analyse de données et de calculs de structures. *RS06/06-022/03 du 08/12/2006*
- 8-9 A. Johannet, M. Vinches** : Prévision de flux autoroutiers, rapport final du contrat ESCOTA *RS08/CT07-055/02, mai 2008.*
- 8-10 A. Johannet, M. Vinches** : Etude de données de calcination de kaolins, Usine de Clérac, *RT08/CT08-006 du 22/12/2008*

ANNEXE B: LISTE DES THESES ENCADREES

Participation à 8 encadrements dont 4 en tant que co-directeur de thèse

TH-RIC-1 Nadine RICARD, soutenance le 20 mars 1995

Estimation de teneurs en minéraux industriels par analyse d'images in situ – Application au Gisement d'andalousites de Glomel (Côtes d'Armor)

Université de Montpellier II, Ecole doctorale : Géosciences,

Directeur de thèse : G. VERRAES - Encadrement de proximité : 30%

Publications et travaux associés: (travail sur contrat industriel soumis à restriction de publication

N. Ricard, D. Lafon, **M. Vinches** : Analyse d'images combinées pour l'estimation d'un gisement d'andalousite, *Revue de l'Industrie Minérale*, pp. 51-54, janvier 1999.

TH-RAF-2 Delphine RAFFARD, soutenance le 21 décembre 2000

Modélisation de structures maçonnées par homogénéisation numérique non linéaire : application aux ouvrages d'intérêt archéologique.

INPL, Ecole doctorale : Ressources, Procédés, Produits, Environnement

Directeur de thèse : JP. HENRY - Encadrement de proximité: 40%

Publications et travaux associés:

D. Raffard , **M. Vinches**, P. Gaudon, JP. Henry : Étude physique de mécanique des maçonneries - Les sciences appliquées à l'archéologie monumentale, *Journée du CERIAN 18 juin 98 – Univ. Louis Lumière Lyon 2 (présentation M. Vinches)*.

D. Raffard, Ph. Leveau, **M. Vinches**, M. Goutouli, JP. Henry, R. Thernod : The building of Roman aqueducts : financial difficulties and technological problems. The case of the Arles aqueduct. *CURA AQUARUM IN SICILIA: ANNUAL PAPERS ON CLASSICAL ARCHAEOLOGY, SUPPLEMENT 6 - 2000. Proceedings of the Tenth International Congress on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region, SYRACUSE - 16 - 22 may 1998, pp 125-133, Editor Gemma C.M. Jansen, PEETERS, 2001, Article Number : ISSN 0165-9367.*

M. Vinches, D. Raffard, P. Hernandez, JP Henry : Recherches menées sur l'aqueduc d'Arles. *Archéosismicité et Vulnérabilité du bâti ancien. Actes des IV^o rencontres du groupe APS, Dépôt Légal: 2^o trimestre 2000, N^o ISBN : 2-9515025-0-8, pp. 21-25.*

TH-FEN-3 Pascal FENART, soutenance le 3 décembre 2002

Caractérisation du comportement hydromécanique des massifs rocheux fissurés.

Université de Montpellier II, Ecole Doctorale: Informations, Structures et Systèmes

Directeur de thèse: JP. HENRY – Encadrement de proximité : 30%

Publications et travaux associés:

H Jourde, P. Fénart, **M. Vinches**, S. Pistre, B. Vayssade (2007): Relationship between the geometrical and structural properties of layered fractured rocks and their effective permeability tensor. A simulation study. *Journal of Hydrology (2007) Volume 337, Issues 1-2, 15 April 2007, Pages 117-132 (référence DOI: 10.1016/j.hydro.2007.01.027) (Impact factor 2006: 2,117).*

TH-CHE-4 Brahim CHETOUANE, soutenance 8 novembre 2004

Approche combinée éléments finis / éléments distincts pour la modélisation des ouvrages archéologiques en grand appareil

Université de Montpellier II, Ecole Doctorale: Informations, Structures et Systèmes

Directeur de thèse: Cl. BOHATIER, **Co-directeur** : Marc VINCHES Encadrement : 40%

Publications et travaux associés:

B. Chetouane, F. Dubois, **M. Vinches**, C. Bohatier (2005): NSCD discrete element method for modelling masonry structures, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 64, issue 1, p. 65-94, 7 sept. 2005, référence DOI: 10.1002/nme.1358 (**Impact factor 2006: 1,497**)

B. Chetouane, C. Bohatier, F. Dubois, **M. Vinches** : Stress and strain tensors in granular medium. Application to masonry structures. *Proceedings of the 2003 ASME Int. Design Eng. Tech. Conf., CHICAGO, 2-6 septembre 2003.*

B. Chetouane, **M. Vinches** C. Bohatier, F. Dubois,: Some examples of real masonry structures modeling by 3DNSCD discrete element method. *Proceedings of the 2004 ASME Int. Design Eng. Tech. Conf., Salt Lake City, Utah, 28 september – 2 october 2004.*

B. Chetouane, C. Bohatier, **M. Vinches** : Mixed deformable/rigid NSCD discrete element method for the modelling of masonry structures. *Proceedings of European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2004., Jyvaskyla, FINLAND, 24-28 July 2004.*

C. Bohatier, B. Chetouane, **M. Vinches** : Dynamic effects in stress analysis for discrete elements modeling Application to masonry. *Proceedings of IDETC/CIE 2005 ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, Ref IDETC-84779, 5th International Conference on Multibody Systems, Nonlinear Dynamics, and Control, Long Beach, California, USA, September 24-28, 2005, VOL 6, PTS A-C, pages: 2031-2035.*

B. Chetouane, C. Bohatier, F. Dubois, **M. Vinches** : Tenseurs de contraintes et de déformations dans un milieu granulaire - applications au cas des maçonneries. *Communication orale, Congrès Français de Mécanique, NICE, 1-5 Septembre 2003.*

M. Vinches, B. Chetouane : Un modèle de solidité - Vie et mort de l'aqueduc de Nîmes. *Pour la Science, (version française de American Scientific) N° 02687, pp. 56-57 - août 2004*

Chetouane B., **Vinches M.**, Dubois F., Bohatier C., Devillers Ph., Nemoz-Gaillard M. Analyse comparée de différentes modélisations du comportement au séisme de monuments en pierre sèche. *Archéosismicité et Vulnérabilité. Patrimoine bâti et Société. Actes des VI° et VII° rencontres du groupe APS, mars 2008, N° ISBN 978-2- 9515025-2-9, pp 113-126.*

TH-PER-5 Robert PERALES, soutenance 27 septembre 2007

Contribution à l'étude du comportement mécanique de structures discontinues de génie civil, modélisées dans le cadre de la méthode NSCD.

Université de Montpellier II, Ecole Doctorale: Informations, Structures et Systèmes

Directeur de thèse : Cl. BOHATIER, **Co-directeur** : Marc VINCHES - Encadrement : 40%

Publications et travaux associés:

R. Pérales, **M. Vinches**, C. Bohatier : Modélisation par éléments discrets d'ouvrages 3D en génie civil. Application de la méthode Non Smooth Contact Dynamics. *Revue Européenne de Génie Civil, vol. 11, numéro 9-10/2007, pages 1169-1185.*

R. Pérales, F. Dubois, **M. Vinches**, C. Bohatier : Numeric Strategies Adapted to Modelling Civil Engineering Discrete Structures. Colloque LAGRANGE, du 6 au 10 décembre 2006 – Scilla, Italie.

C. Bohatier, **M. Vinches**, R. Pérales, M. Némoz-Gaillard : Contact surface element for the discrete element method: application to masonry modelling. *communication orale, Proceedings Fifteenth International Conference on COMPOSITES/NANO ENGINEERING (ICCE - 15) Haikou, China, 15-21 July 2007*

R. Péralès, C. Bohatier, **M. Vinches**, M. Nemoz-Gaillard : New developments on the distinct element modelling using the NSCD method. *ECCOMAS thematic conference COMPDYN 2007, 13-15 June 2007, Rethymno, Greece.*

Perales R., **Vinches M.**, Bohatier C. Etablissements recevant du public en pierre massive : apports des modélisations discontinues. *Archéosismicité et Vulnérabilité. Patrimoine bâti et Société. Actes des VI^e et VII rencontres du groupe APS, mars 2008, N° ISBN 978-2-9515025-2-9, pp 189-197*

M. Vinches, A. Rafiee, R. Pérales, B. Chétouane : Calcul de structures en pierres massives : apports des modèles discrets. *Journée technique de l'Industrie Minérale, et du SNROC, avec la participation de la revue Pierre Actual. Ecole des Mines de Paris, 7 novembre 2007 (présentation M. Vinches).*

TH-KON-6 Mohammad KHONESHLOO, soutenance le 16 novembre 2007

Caractérisation, estimation et valorisation de gisements d'argiles kaoliniques du bassin des Charentes.

Ecole des Mines de Paris, Ecole doctorale : Sciences et Métiers de l'Ingénieur

Directeur de thèse: Michel DUCHENE, Co-Directeur Jean-Pierre ROLLEY – Encadrement de proximité: 30%

Publications et travaux associés: (travail sur contrat industriel soumis à restriction de publication

M. Koneshloo, M. Vinches, J.P. Rolley : Modelling of sedimentary deposits of kaolin clays, in continental environment : application to the Charentes deposits. *Communication proceedings réf. : 1100, 20th World Mining Congress, Téhéran, 7 au 11 novembre 2005.*

TH-SAN-7 Céline SANCHEZ, soutenance 6 décembre 2007

Spécification et implémentation du système d'aide à la décision multicritère pour la maintenance préventive et la gestion du patrimoine de la société d'autoroute ESCOTA: le projet SINERGIE.

Ecole des Mines de Paris, Ecole doctorale : Sciences et Métiers de l'Ingénieur

Directeur de thèse : J. MONTMAIN, **Co-directeur:** Marc VINCHES - Encadrement : 30%

Publications et travaux associés:

J. Montmain, C. Sanchez, **M. Vinches** : Multi criteria analyses for managing motorway company facilities: the Decision Support System SINERGIE. *Advanced Engineering Informatics, version définitive disponible en ligne 12 janvier 2009, (référence doi:10.1016/j.aei.2008.12.001) (Impact factor 2007: 1.172)*

C. Sanchez, B. Mahieu , J. Montmain, **M. Vinches** : Système interactif d'aide à la décision pour la gestion du patrimoine d'une société d'autoroute. *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées, N° 265, oct./nov./dec. 2006, pp. 89-108.*

C. Sanchez, J. Montmain, **M. Vinches**, B. Mahieu : A multi criteria evaluation over a finite scale for maintenance activities of a motorway operator. *ICINCO 2007, 4th International Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics, Angers, France, 9 – 12 mai 2007.*

C. Sanchez, J. Montmain, **M. Vinches**, B. Mahieu : Un Système d'Aide à la Décision pour l'Evaluation et la Gestion du Patrimoine de la Société d'Autoroutes Escota. *CIGI 2007, 7^{ème} Congrès international de génie industriel, Trois-Rivières, Québec, Canada, 5 – 8 juin 2007.*

C. Sanchez, J. Montmain, **M. Vinches**, B. Mahieu : The Escota "SINERGIE" project : a hierarchical multicriteria evaluation process over Conférences internationales avec actes et comité de lecture finite scales for maintenance activities. *65th Euro working group workshop on Multi Criteria Decision Aiding, (MCDA'65), Poznan, Poland, 12 -14 april 2007.*

TH-RAF-8 Ali RAFIEE, soutenance 20 juin 2008.

Contribution à l'étude de la stabilité des massifs rocheux fracturés : caractérisation de la fracturation in situ, géostatistique et mécanique des milieux discrets.

Université de Montpellier II, Ecole Doctorale: Informations, Structures et Systèmes

Directeur de thèse : C. BOHATIER, **Co-directeur** : Marc VINCHES - Encadrement : 60%

Publications et travaux associés:

A. Rafiee, **M. Vinches** (2008): Application of Geostatistical Characteristics of Rock Mass Fracture Systems in 3D Model Generation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol 45, p. 644-652, 2008 (référence: DOI: [10.1016/j.ijrmms.2007.09.009](https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2007.09.009)) (Impact factor 2006: 0,624)*

A. Rafiee, **M. Vinches**, C. Bohatier (2008): Modelling and analysis of the Nîmes arena and the Arles aqueduct subjected to a seismic loading, using the Non-Smooth Contact Dynamics method, *Journal of Engineering Structures, volume 30, number 12, p. 3457-3467, december 2008. (référence DOI : 10.1016/j.engstruct.2008.05.018) (Impact factor 2006: 0,813)*

A. Rafiee, **M. Vinches**, C. Bohatier (2008): Application of the NSCD method to analyse the dynamic behaviour of stone arched structures. *Int. Journal of Solids and Structures, volume 45, issues 25-26, p. 6269-6283, dec.15 2008 (référence DOI : 10.1016/j.ijsolstr.2008.07.034) (Impact factor 2006 : 1,529).*

A Rafiee, **M. Vinches**, C. Bohatier : Application of the NSCD method to the modelling of a fractured rock mass under seismic events. *ECCOMAS thematic conference COMPDYN 2007, 13-15 june 2007, Rethymno, Greece.*

A. Rafiee, **M. Vinches**, C. Bohatier : La méthode NSCD (Non-Smooth Contact Dynamics) appliquée à la simulation du comportement mécanique des massifs rocheux fracturés. *AUGC, - 26èmes Rencontres Univ. de Génie-Civil, Nancy, 4 - 6 juin 2008, réf. AUGC2008-150.*

A. Rafiee, **M. Vinches**, C. Bohatier : Application of the NSCD method to the stability analysis of jointed rock masses *21rst World Mining Congress, Krakow-Katowice, Poland, 7-11 September 2008.*

A. Rafiee, **M. Vinches** : Combination of the geostatistical analysis and the geo-structural clustering method to generate a 3D stochastic model of fractured rock masses. *Eighth International Geostatistics Congress, Santiago, Chili 1-5 dec. 2008, Vol. 1, pp. 515-524.*

M. Vinches, A. Rafiee, C. Bohatier : Numerical analysis of the mechanical behavior under seismic loading of discrete element structures : application to 3D fractured rock masses and large stone course buildings. *ECCOMAS thematic conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, COMPDYN2009, Greece, 22-24 June 2009.*

M. Vinches, A. Rafiee, C. Bohatier : Discrete element modeling of the mechanical behavior of ordinary houses and masonry structures, taking into account recorded earthquake accelerograms. *Provence'2009, Seismic risk in moderate seismicity area from hazard to vulnerability, Aix-en-Provence, France, 6-8 juillet 2009*

ANNEXE C: ACTIVITES PEDAGOGIQUES

Enseignements de première formation

COURS MAGISTRAUX A L'ECOLE des MINES d'ALES

Il s'agit essentiellement des cours de :

- calcul et modélisation de structures, mécanique des roches
en option Génie Civil, et Bâtiment, puis après refonte des options, en option Génie Civil Ressources Aménagement
- calcul de structures par la méthode des éléments finis
Département Ingénierie Mécanique et Matériaux
- géostatistique linéaire
en option Mines, puis, après disparition de celle-ci, en option Génie Civil Ressources Aménagement,

puis de façon plus annexe des cours de :

- procédés généraux de construction,
en option Génie Civil, et Bâtiment,
- aéragé minier, exploitation des mines, mécanique des roches
en option Mines, puis, en option Génie Civil Ressources Aménagement.

Pour les travaux dirigés, il s'agit essentiellement de :

- calculs par éléments finis (aspects méthodologiques, et pratiques sur codes de calcul industriels)
en 3^o année de tronc commun, et première année de formation continue
- statistiques,
en 2^o année de tronc commun.

Le total des cours à l'Ecole des Mines d'Alès représentant : **780 heures de cours** et **520 heures de TD assurées face aux élèves.**

COURS EN DEA :

Université MONTPELLIER II	
Analyse et Traitement des Données Expérimentales	4 heures/an
1992-1993 Calculs Eléments Finis	8 heures

COURS DE SPECIALITE EN FORMATION DOCTORALE

Cours Formation Doctorale UMII - MSE	Septembre 2000	Géostatistique	16 heures
Cours Formation Doctorale ENSMSE	Septembre 2001	Statistiques	16 heures

DIVERS :

Conférence-cours à la Maîtrise d'archéologie Université LYON II
20 janvier 2000, sur les techniques de construction en pierre.

Enseignements de formation continue aux salariés en entreprises et administrations

COURS AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

TD de statistiques appliquées à l'économie, ½ Unité de Valeur : 55 heures

Cours de statistiques appliquées à l'économie, 1 Unité de Valeur : 110 heures

Ensemble des deux enseignements donné à deux reprises de 1986 à 1990 .

Soit au total : **330 heures** face aux élèves

MISE EN PLACE DE BADGES

J'ai participé depuis avril 2003, à la conception globale, et la définition de détail du contenu d'un BADGE (Brevet d'Aptitude Délivré par les Grandes Ecoles) sur l'abattage à l'explosif pour les travaux de surface, avec la Société NITRO-BICKFORD, et ai proposé l'architecture générale d'un badge « exploitation de carrière », en lien avec le Service de Formation Continue de l'Ecole des Mines d'Alès, et deux enseignants-chercheurs de l'équipe Génie Civil : Géotechnique et Ouvrages.

Ces badges représentent l'équivalent de 230 heures / personne formée. L'implication de l'Ecole des Mines étant essentiellement centrée sur la conception pédagogique globale de la formation, les procédures d'évaluation, et quelques modules de formation scientifique. J'assure dans le BAGE « abattage des Roches à l'explosif » un module de cours en statistique, sur une journée.

FORMATIONS CONTINUES PARTICULIERES

Jusqu'à fin juin 2009, le bilan d'enseignement de formation continue aux entreprises et administrations est de **100 h** et il est décomposé en 2 types d'actions : **formation directement en entreprise** (ENMDC, SARET), **formation continue en centre de formation professionnelle** (ISRFMP, et EMA)

4 au 7 décembre 1991 ENMDC – BOUMERDES ALGERIE
Formulation et caractérisation des bétons hautes performances.

22 et 23 janvier 1992 Stage de formation SARET PPB
Formation à la formulation de micro-bétons.

14-16 mai 2008 Stage de formation SNCF
Initiation à la géologie

1992 – 2009 Institut Supérieur de Recherche et de Formation des Métiers de la Pierre de Rodez, Formation annuelle de 1 ou 2 demi-journées.
Exploitation de carrière et mécanique des roches.

1991 - 2007 Formation DRIRE aux techniques d'exploitation de carrière :
Initiation à la mécanique des roches.

Activités de responsabilité pédagogique

Mes responsabilités pédagogiques ont commencé dès ma première année d'embauche en tant qu'enseignant - chercheur à l'Ecole des Mines d'Alès. En effet, étant à peine arrivé le 2 janvier 1989, j'étais invité trois semaines plus tard, le 23 janvier, à prendre la responsabilité de l'option Génie Civil – Travaux Publics à compter du 1^{er} mai suivant. Cela supposait d'organiser les interventions de 28 chargés de cours dont la moitié de professionnels extérieurs à l'EMA, et l'autre moitié composée de bon nombre de mes anciens professeurs, devenus collègues.

Les objectifs assignés pour une durée minimale de 5 ans étaient de **tisser des liens plus étroits avec les grands groupes nationaux** du secteur, avec **les quelques entreprises régionales importantes** (BEC, RICHARD-DUCROS, MERIDIONALE DES TRAVAUX, SOGEA), et dans le même temps **renforcer l'attractivité de l'option**, avec un objectif d'accroissement fort des effectifs. L'annexe 3.b présente les projets industriels que j'avais mis en place en 1994. La première promotion, dont j'avais la charge, 1989-90, comptait **9 élèves**, la suivante **12 élèves**, et la troisième **21 élèves**.

A partir de mars 1992, j'ai assuré pour la promotion 1991-1992, et 1992-1993, la responsabilité des deux options Génie Civil – Travaux Publics et Bâtiment-Génie Climatique (**39 élèves** la deuxième année complète).

A partir de septembre 1993, et jusqu'en juillet 1995, j'ai assuré **le démarrage de l'option génie civil et minier**, regroupant en une seule option, présentant des filières d'approfondissement, les enseignements, et visant les secteurs de placement des options **Génie Civil –Travaux Publics, Bâtiment - Génie Climatique, et Mines**. La mise en place des programmes, et le suivi effectif du déroulement pendant deux ans de cette nouvelle option ont été des moments très enrichissants. Les effectifs étaient de **37 et 38 élèves** sur les deux promotions concernées.

Outre l'organisation des cours, TD, visites de chantiers et d'exploitations, et des nécessaires contrôles et dossiers administratifs à suivre, qui sont des éléments d'activité classiques de ce type de poste, **la mise en route des études techniques selon des grilles standard** qui ont prouvé sur la durée, leur adaptabilité et leur efficacité, a été mon plus grand motif de satisfaction. Cet exercice existait précédemment à l'Ecole des Mines d'Alès, mais selon une structure plus souple et moins formalisée. Ma contribution a été de fixer des règles communes aux diverses études techniques, assurant un meilleur suivi pédagogique de l'exercice, et une implication accrue des élèves dès le début de la période concernée.

Inspirée d'un exercice de faisabilité minière découvert dans son caractère opérationnel à l'Ecole des Mines de Camborne, en Cornouaille anglaise, **la grille** mise en place pour ces études techniques **avait les objectifs suivants** : permettre en temps limité (6 semaines) - mais suffisamment long pour obtenir un résultat professionnel - à un groupe de 5 à 7 élèves de travailler sur un projet réel. Cela supposait une **transmission des informations** d'un élève à l'autre, **une responsabilisation de chacun** des membres du groupe sur des résultats à obtenir en temps limité, et la **nécessité d'une coordination maximale** des différentes tâches à effectuer. Pour améliorer le caractère formateur de l'exercice, les groupes étaient imposés dans leur constitution, des parcours étaient imposés pour chaque élève qui devait suivre certains modules dans des champs différents (champs calcul sur informatique, champs pièces

PROJET

ETUDE TECHNIQUE 1995

PRODIGAL

SEMAINE 1							SEMAINE 2						SEMAINE 3					SEMAINE 4					SEMAINE 5					SEMAINE 6		
JANVIER							FEVRIER															MARS								
23	24	25	26	27	30	31	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28	1	2	3	
P R E S E N T A T I O N P R O J E T S	Problématique						C H O I X D E S O L U T I O N O R A L	Géologie					Valorisation des Réserves					Choix Equipements Optimisation					R A P P O R T F I N A L	P R E S E N T A T I O N L A	S E X P O S E S F I N A L E S E					
	Géologie							DL-DN					DN-LC					HM-MS-LC												
	Limites du Gisement							Etudiants : 1 - 3					Etudiants : 3 - 4					Etudiants : 1 - 2												
	Problèmes d'impact							Caractérisation des produits					Suivi Qualité Produits					Analyse Financière Méthodes												
	Production							DN-EP					EP-DN					HM-MD												
	Etudiants : 5 - 6							Etudiants : 1 - 5					Etudiants : 4 - 6																	
Valorisation - Traitement						Phasage Exploitation Organisation Carrière					Organisation Carrière Géol. structurale					Impact POussières Vibrations Transport														
Exploitation - Phasage						HM-NL-MV					DL-BV-MV					NL-HM														
Stabilité de pentes						Etudiants : 4 - 2					Etudiants : 2 - 6					Etudiant : 3-5					Etudiants : 1 à 6									
DL-DN-NL-BV-LC-EP-PhW-HM-MV						Etudiants 1 à 6					Etudiants : 4 - 2					Etudiants : 2 - 6					Etudiant : 3-5					Etudiants : 1 à 6				

DL : Dominique LAFON DN : Didier NECTOUX NL : Nathalie LIETAR LC : Laurent CLERC BV : Bernard VAYSSA MD : M. DUCHENE

EP : Evelyne PRADAL PhW : Philippe WEBER HM : Hamid MASSOUMS M. SIMONIN MV : Marc VINCHES

Exemple des grilles mises en place pour un projet de pont et un projet de carrière, en 1995.

Pièce n°2

ETUDE TECHNIQUE 2009 - PLANNING

SEMAINE 1					SEMAINE 2					SEMAINE 3					SEMAINE 4					SEMAINE 5				
JANVIER					FEVRIER																			
26	27	28	29	30	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	23	24	25	26	27
P R E S E N T A T I O N P R O J E T S	1) Analyse de la brèche 2) Etudes de différentes solutions 3) Plans d'EPOA 4) Rapport d'EPOA				Calculs des sollicitations longitudinales et transversales					Tablier DAO Plans					Métré estimatif PHS PAQ Pièces écrites					R A P P O R T F I N A L	P R E S E N T A T I O N L A	E X P O S E S F I N A L E S E		
					AN-CP					BV-MV-JCS					JC-JCS-DF									
					Etudiants : 1 - 3					Etudiants : 3 - 4					Etudiants : 1 - 2									
					Implantation générale Définition géométrique du tablier Définitions des appuis et fondations					Validation des sections Contreflèches Calculs des efforts horizontaux					DAO Plans									
					DF-AN-JPA					AN-CP-JCS					BV-MV-AN									
					Etudiants : 5 - 6					Etudiants : 1 - 5					Etudiants : 4 - 6									
Méthodes Organisation Phasage Ouvrages provisoires					Justification de l'ouvrage en service Flexion longitudinale et transversale					Méthodes (suite) Techniques de mise en place														
GM-JC					AN-DF-JCS					JM-JPA														
Etudiant : 1 - 6					Etudiants : 4 - 2					Etudiants : 2 - 6					Etudiants : 3 - 5					Etudiant : 1 - 5				

AN : Alexandre NIETO
BV : Bernard VAYSSADE
CP : Christophe PEYREDF : Daniel FOISSAC
GM : Gilles MORASIN
JC : Jean CAPIEMONTJCS : Jean-Claude SOUCHE
JPA : Jean-Paul ALBRECHT
MC : Michel COUDERC

MV : Marc VINCHES

23.01.2009

Grille utilisée pour le projet de pont, en 2009

Encadrement de travaux d'élèves

Depuis 1989, deux types d'encadrements de travaux d'élèves ont été menés au sein de l'Ecole des Mines d'Alès, à savoir :

des encadrements classiques de travaux d'élèves ingénieurs : initiations à la recherche, projets longs, études scientifiques, études socio-économiques, études techniques.

des encadrements de missions, liées à la pédagogie entrepreneuriale mise en place à l'Ecole des Mines depuis 1998.

Plutôt qu'une présentation exhaustive de l'ensemble des travaux encadrés, seuls deux ou trois travaux particuliers sont cités dans les pages suivantes à titre d'illustration.

encadrements « classiques »

initiations à la recherche (niveau : Bac + 4 – durée : 4h/semaine pendant environ 5 mois)
(Encadrement : 100% sauf mention contraire)

1989-1990 Grégoire PIGNARD Comportement des bétons à fumée de silice.

Jérôme SERCOMBE Mise au point et mise en œuvre de remblais cimentaires en exploitation minière souterraine. Influence de l'adjonction de fines, de techniques de mélange et de mis en œuvre.

1995-1996 Jean-Christophe NOIROT, Jérôme TREFFORT Stabilité des massifs rocheux. Vérifications et méthodes usuelles de calcul. Apport de l'analyse d'images pour la détermination des paramètres déterminants

1997-1998 Sylvain DARGENT, Stéphane JOANNIC Caractérisation du réseau de discontinuités d'un massif rocheux.

Laure CAPMAU, Pascal MESQUIDA Caractérisation des propriétés élastiques in situ de matériaux hétérogènes (encadrement 50% avec D. RAFFARD)

Projets longs (niveau : Bac+4 – durée : 4h/semaine pendant environ 5 mois)

2000-2001 Anna KUENTZ, Adrien TINARRAN Modélisation informatique des arènes de Nîmes

2001-2002 Pierre COTTE, Olivier MARBEC, Sébastien MATHIEUX Modélisation de deux aqueducs romains.

2002-2003 Séverine BARRET, Aurélie LAY , Béatrice PAYET Modélisation du comportement physique de mélanges granulaires sous sollicitations simples.

2003-2004 Boris VALLAT, Mikaël GANDOLIN, Hen LIM : Calcul 3D, stabilité d'un massif rocheux.

2006-2007 Romain FORT, Romain RICHARD Caractérisation de l'aspect visuel de textures de bois, et de son évolution dans le temps. Projet du Département d'Enseignement Ingénierie des Matériaux et Mécanique, Encadrants : M. VINCHES, D LAFON, H. GARAY.

Etudes scientifiques (niveau : Bac + 3 – durée : 4h/semaine pendant 4 mois)

1994-1995 Stéphanie ASSEDOU Classifications des Massifs Rocheux – Objectifs, avantages, limites d'applications au Génie Civil

1997-1998 Elodie ABIAD, Laurent HAUZERMANN Synthèse et recollement des plans d'un ouvrage antique.

1998-1999 Erik GELEYN, Cédric PERRIER, Damien SIVIER, Frédéric THABARET
Les arènes de Nîmes. Contribution aux programmes de restauration.

Etudes socio-économiques (niveau : 1^{ème} année – durée : 4h/semaine pendant 6 mois)

1994-1995 Vincent NOUGUIER, Christophe TEJEDO-CRUZ : Carrières LAUZE
Valorisation des déchets d'une carrière de pierre ornementale.

Marc CHEVENEMENT, Olivier DEFAUCHY : Synthèse bibliographique et scénario d'une exploitation de carrière en vue d'une réalisation sur support multimédia.

Etudes techniques (niveau : BAC + 5 – durée : travaux encadrés d'élèves, à temps complet, pendant 5 à 6 semaines)

1989-1990 Etude Technique, Option Mines, Camborne School of Mines, 11 –21 juin 1990

1990-1991 Etude Technique, Option Mines, Camborne School of Mines, 20 mai - 6 juin 1991

J'ai assuré l'encadrement des études techniques des options Génie Civil – Travaux Publics, Bâtiment – Génie Climatique, puis Génie Civil et Minier, et enfin Génie Civil Ressources Aménagement à raison de 1 à 3 semaines (temps plein) / an, selon les années. On peut, sur 20 ans, comptabiliser **27 semaines** pleines d'encadrement pour cet exercice, jusqu'en 2009.

Projets industriels (de fin d'études) (niveau : Bac + 5 – durée : 3,5 mois)

De 1990 à 2009, j'ai assuré l'encadrement de **78 projets de fin d'étude**. Ces projets ont fait l'objet de visites en entreprise, à de très rares exceptions près, et systématiquement d'échanges réguliers avec les élèves sur les domaines scientifiques ou techniques de façon prioritaire.

J'ai sélectionné ci-dessous **quelques sujets qui ont eu un relief particulier**, soit parce qu'ils ont été distingués par le prix ARMINES-TRANSVALOR, récompensant sur l'ensemble de l'Ecole des Mines d'Alès, deux projets par an, particulièrement innovants et à fort impact économique pour l'entreprise, soit parce qu'ils ont été intégrés dans une démarche de partenariat de recherche ou liés à un contrat de prestation de service avec le laboratoire, soit enfin parce qu'ils illustrent l'objectif double qui était celui de la direction de l'Ecole, d'être présent auprès des leaders nationaux du BTP et en même temps auprès du tissu des entreprises locales.

1990

Pascal MAROTEL, Bernard SCHWALLER, EUROTUNNEL Assistance au phasage du creusement des cross-over.

1991

Guillaume BENEBIG et Jean-Louis BLANCH, BEC FRERES, Mise au point de cintres spéciaux d'Ouvrages d'Art (**1° PRIX ARMINES TRANSVALOR**)

Corinne SYLVESTRI- Jean-Louis MARCEL, RAZEL, Méthodes d'exécution et bétons innovants sur le Pont de l'Elorn.

1993

Alain FELZINES, CAMPENON BERNARD REGIONS, Mise en place d'un Système Qualité sur chantier de Génie Civil

Sylvie LECRUX, TECHNODES, Maturométrie des bétons

1994

Emmanuel WISPELAERE

COGEMA Paramétrisation des projets de réhabilitation des sites

1995

Léopold REMON, DEVIN –LEMARCHAND ENVIRONNEMENT, Calcul de soutènement de galeries souterraines

Lionel POIRIER, Jean-Marc POUCHOULON, HBCM, Planification de l'exploitation par géostatistique (**2° Prix ARMINES TRANSVALOR**)

Philippe LOISEAU, TECHNODES, Maturométrie de bétons projetés spéciaux

Cédric KHAZNADJI, BOUYGUES , BPR : mise au point de formulations industrielles

Xavier CAILHOL, Carrières LAUZE, Faisabilité d'une nouvelle méthode d'exploitation

Benjamin BOISSIERE, Ets RICHARD-DUCROS, Calculs EFI sur ponts mixtes.

1996

Didier STABROWSKI, SOCIETE FRANCAISE des ASPHALTES, Mise en conformité de l'exploitation vis-à-vis du RGIE

Valérie DUC, COMPAGNIE NOUVELLE DES SCIENTIFIQUES, Application des réseaux de neurones à l'optimisation de plans de tir. (**2° prix ARMINES TRANSVALOR**)

1997

Olivier ROBERT, BEC PERFOREX , Mise au point de cintres réticulés

1999

Laure CAPMAU, EURODIF, Etude de stabilité de structures (**1° prix ARMINES TRANSVALOR**)

2000

Tony CONSTANT, Mairie de WIMEREUX, Etude de l'évolution du trait de côte : stabilité de falaises maritimes

Isabelle GERGON, SAVERDUN TERRE CUITE, Calculs informatiques des planchers de Limoux

2001

Sébastien REBOUL, ENSMP-CGES, Etude de l'abattage mécanique assisté par jet d'eau haute pression en milieu submergé.

2002

Stéphane BALMAIN, GEONUMERIC, Etude de structures de génie civil.

2004

Baptiste MOREAU, VICAT, Exploitation d'une carrière de calcaire à des fins d'alimentation de la cimenterie VICAT de Montalieu-Vercieu

2007

Antoine GAUDIN, RFF, Elaboration d'un tableau de bord financier et gestion des risques sur le projet tangentielle Nord.

2008

Romain RICHARD, SEAL ENGINEERING, Nîmes, GROUPE TECHNIP: Calculs mécaniques de liaisons fond-surface.

2009

Gisèle SUHETT-HELMER, BRL INGENIERIE, Nîmes, Géotechnique des barrages en remblai : analyse de la stabilité et hydraulique interne.

encadrements « particuliers » liés à la démarche entrepreneuriale de l'Ecole des Mines d'Alès

Lancées en novembre 1999, les missions de terrain conduisent un groupe de trois élèves ingénieurs, en entreprise pendant cinq semaines, à répondre à des problèmes réels d'entreprise, avec l'objectif de découvrir plusieurs facettes de la réalité industrielle, mais aussi, au contact de tuteurs responsables de mission, des comportements d'entrepreneurs, face auxquels ils sont amenés à réagir. J'ai ainsi encadré **chaque année au moins deux missions** de terrain, dont quelques exemples sont donnés ci-dessous à titre d'illustration.

Mission Organisation et Gestion de production

13 mars 2000 – 12 avril 2000

Eric BARAULT, Ali BOSTAN, Jérôme DOLE
Entreprise ROGER MARTIN, Réorganisation de la production dans une carrière de marne et d'argile à Lantenne Vertière.

Mission Création d'entreprise et d'activités nouvelles :

8 janvier 2001 – 9 février 2001

Nicolas LEMEST, A ADAQUIN, SAJOT

ENCEM, Prospection de nouveaux marchés et nouvelles activités pour l'ensemble des agences.

Mission création de produits et de services innovants :

7 janvier 2002- 15 février 2002

Damien CHOBERT, Vincent DELMONT, Xavier GOUY

PPB, Mise en place d'une production en Ductal

14 janvier 2008 – 15 février 2008

LESOT Aude, PILLON Floriane, SARAÏS Mathieu

ALPES CONTROLES : Etude sur le développement des activités de conseil et d'assistance relatives à la sécurité contre l'incendie, l'accessibilité des bâtiments aux personnes handicapées et le H.Q.E

12 janvier 2009 – 13 février 2009

CAPUTO Vanessa, GRITTI Mathieu, ROSO Loïc

ARC-AVENE : Plan de financement de l'entreprise. Redéfinition d'une stratégie de développement.

Mission le produit et son marché :

17 mars.2008 - 18 avril 2008

COSTE Sylvain, JABIROUNE Mohamed, PEREZ Marion

SOLATRAG : Etude de marché des produits Solatrag dédiés aux particuliers.

A coté des missions en entreprises d'une durée de 5 semaines, à partir de l'année universitaire 1999-2000, des **mini-missions** d'une semaine à temps complet ont été instaurées dans les laboratoires de recherche afin de présenter quelques aspects des recherches conduites au laboratoire, et au sein du département de mathématiques pour illustrer les enseignements de statistiques. Dans ce nouveau cadre, j'ai proposé et encadré quelques mini-missions. Les objectifs pédagogiques essentiels sont pour les élèves d'observer, situer, manipuler, comprendre et transmettre, et ce à partir d'un travail en équipe de trois élèves.

Mini-Missions Mathématiques

Ajustements de variogrammes expérimentaux 2D (proposé en 2000, et 2001)

Marie-Claire ARGUIMBAU, Clément DURAND, Christophe GROSSI

Description statistique de données de vent (intensité, direction), en lien avec des phénomènes d'instabilité de falaise côtière (23 au 27 avril 2001).

Modélisation des relations pluies - hauteur de lame d'eau, SDIS 48 (mai 2004)

Modélisation de crues par réseaux de neurones (une session en décembre 2007)

Analyse de données pluviométriques (février 2009)

Mini Mission de laboratoire

Texture des roches : variables et variabilité (trois sessions 2001, 2002, 2003)

Sollicitation dynamique de structure en laboratoire (une session en 2003)

Modélisation de structures discontinues : comparaison expérience – modélisation (une session en 2003)

autres encadrements d'élèves :

Suivi de projet de fins d'étude de stagiaires IUT :

Génie civil :

Akim KOOLI – 3 mois – mars – juin 2001. Modélisation sur Autocad des Arènes de Nîmes.

Informatique :

Aurélien CASEAUX - 3 mois – mars – juin 2003. Mise en place du site de l'équipe de recherche. (en collaboration avec Jean-Pierre Rolley)

Suivi du projet de fin d'étude élèves ingénieur ISITV :

Julie AUTRET : Modélisation mécanique des arènes de Nîmes : étude particulière des linteaux de la galerie extérieure du 1^o étage. (encadrement à 100% sur 3 mois).

Suivi de projet de maîtrise :

Suivi d'un étudiant en maîtrise d'archéologie, Université d'Aix en Provence 1999-2000, sur les méthodes de construction d'ouvrages en pierre.

Participation au jury de soutenance, le 29 juin 2000.

Encadrement de stage de MASTER

Encadrement du stage de Master I de Véronica POPPA, mai - juin 2007

Initiation à la caractérisation et à la modélisation de phénomènes pluvieux extrêmes sur les bassins versants de Saumane et Saint-Jean du Gard.

Université Montpellier II, Laboratoire : HydroSciences

Stages de DEA

DEA-KAM-1 – 1989 Mohamed KAMEL : *Détermination des efforts extérieurs nécessaires à la stabilisation des blocs rocheux, à partir d'une analyse par la méthode des blocs clés. Application au confortement des massifs rocheux fracturés,*

Ecole des Mines de Paris, soutenance le 7 juillet 1989

Direction de stage : Ph. WEBER, Encadrement : 40

DEA-FAG-2 – 2000 Jérôme FAGE : *Etudes sur l'aqueduc gallo-romain de Lyon-Brenne*

Université de Provence Aix –Marseille I, DEA d'archéologie : techniques de construction romaines, soutenance du 25 janvier 2000

Président : Pierre GROS, Professeur, Université d'Aix-Marseille

Examineurs : Philippe LEVEAU, Professeur d'antiquité nationale, Robert ROYER, Professeur , Marc VINCHES, Maître-Assistant Ecole des Mines d'Alès.

Stage de recherche

1997-2000 Xavier DUNAT : *Modélisation du couplage hydromécanique d'un joint rocheux sous contrainte normale avec jeu réduit de données,*

Directeur de thèse : JP HENRY, Encadrement : 50%,

Embauché avant sa soutenance, après trois ans de thèse, par une société de services informatiques, Xavier n'a jamais terminé son manuscrit.

ANNEXE D: ACTIVITES D'ANIMATION D'EQUIPE, ACTIVITES COLLECTIVES, ET DIVERS

Animation d'équipe

D'avril 2001 à octobre 2006, j'ai été animateur de l'une des 5 équipes de recherche du Centre des Matériaux de Grande Diffusion de l'Ecole des Mines Alès : Equipe « Génie Civil, Géotechnique et Ouvrages », ou GCGO, (7 enseignants chercheurs, 2 techniciens, 1 à 2 thésards).

Cette équipe a été remaniée lors d'une restructuration du centre fin 2006, et j'ai pris depuis la responsabilité du projet « Mécanique des Structures et Milieux Discontinus », rebaptisé pour des questions de lisibilité « Géo-Mécanique et Hydrologie ». J'assure actuellement cette responsabilité d'animation d'équipe de 2,8 enseignants-chercheurs ETP, et 4 doctorants.

Il me paraît intéressant de présenter la démarche de Marketing de la Recherche que j'ai conduite avec l'équipe GCGO, et qui en a conditionné l'évolution, depuis 6 ans.

Synthèse de la démarche conduite : mise en œuvre d'une démarche Marketing de la Recherche en lien avec le Centre de Transfert de Technologie de l'EMA, afin de positionner de façon argumentée, en interne et en intégrant les demandes extérieures, les axes de développement des compétences des chercheurs, et les décisions d'investissement matériels, face à divers segments de marchés identifiés.

En juin 2001, suite à une proposition d'assistance du Centre de Transfert de Technologie de l'Ecole des Mines d'Alès, j'ai décidé d'engager une démarche appelée Marketing de la Recherche, ayant un certain nombre d'objectifs : assurer le développement durable de l'équipe de recherche, à la fois sur les plans académiques et de l'activité contractuelle associée à la recherche, renforcer la cohésion entre les membres permanents de l'équipe, dégager des axes de développement, et pour chacun d'eux mettre en place un plan d'investissement à moyen terme en compétences, matériels et clients cibles.

Cette démarche a mobilisé l'équipe de décembre 2001 à décembre 2002, dans la phase de définition de la matrice de segmentation, présentée ci-dessous. Cette matrice est le résultat d'un processus assez long, qui part de l'analyse des savoirs théoriques, et des savoir-faire des personnels, qui prend en compte les niveaux de performance des équipements mobilisables par l'équipe, qui intègre les options stratégiques de la structure d'appartenance de l'équipe, et positionne l'ensemble face à des clients, déjà connus ou potentiels, de façon à bénéficier de leurs remarques, et avis, au moyen d'entretiens directs, longuement préparés.

	Calcul de structures A1	Calcul d'ouvrage dans son environnement A2	Etude des Matériaux des Ouvrages A3	Etude des Matériaux Minéraux Naturels A4	Reconnaissance et exploitation des minéraux naturels in situ A5	Hydrogéologie A6
Formation ①	S1		S5	S8	S10	S13
Recherche long terme et stratégique ②	S2	S4	S6	S9	S11	S14
Soutraitance en recherche ③	S3					
Prestations Fourniture de résultats ④			S7		S12	

Matrice de segmentation – Marketing de la Recherche – Equipe GCGO – déc. 2002

A partir de l'analyse de la matrice de segmentation, des plans d'actions, visant le développement de segments particuliers, de façon différenciée dans le temps, ont été élaborés, et des fiches d'actions mises en place pour en assurer la mise en œuvre détaillée. Une présentation formelle de la démarche a été faite au niveau de l'Ecole, en décembre 2002, et la mise en œuvre dans l'équipe, après présentation au niveau du laboratoire à partir d'avril 2003. Pour réaliser cette démarche, j'ai bénéficié du concours d'un cadre confirmé du CTT pendant 3 mois pleins, d'un chargé de mission ingénieur débutant pendant 2 mois, pour la réalisation des entretiens extérieurs essentiellement, de l'assistance d'un consultant en management, enseignant de l'Ecole de Management de Lyon, pour 6 journées de travail, avec l'ensemble des personnels permanents de l'équipe, et de la mobilisation de la totalité des personnes de l'équipe, après une phase nécessaire d'explication des objectifs, des méthodes et des enjeux de la démarche.

Participation à des programmes de recherche internationaux

Participation à des programmes d'échanges avec des enseignants étrangers :

Prof. COSTA et KOPPE, Université de Porto Alegre, Brésil, programme CAPES/COFECUB
20 au 24 septembre 1999 accueil à Alès, 9 au 15 novembre 1999 visite retour à Porto Alegre.
Thèmes de recherche : Méthodes d'estimations en mine par géostatistique, stabilité de mine souterraine pour des exploitations artisanales d'améthyste.

Prof. Stephen PRIEST, Université de South Australia, Adelaïde, Australie,
1^o au 8 juillet 2003 accueil à Alès.

Thèmes de recherche : Stabilité des massifs rocheux fracturés, et modélisation par la méthode des blocs. Apports spécifiques de la méthode NSCD.

Responsable opérationnel du contrat n° MAIM/0055-C des Commissions des Communautés Européennes - DG XII C5. Stabilité et confortement d'ouvrages miniers - développement de

méthodes de dimensionnement fondées sur l'étude géostatistique de la fracturation et sur la méthode des blocs-clés - Application au boulonnage par câbles.

Responsable de la réalisation de la synthèse de la phase I - Contrat CRAFT "Technology development for the reinforcement of thin stones products". Contrat BRST-CT97-0502 - 1998 (140 KF). Négociation de la phase II, classement A2 du projet (200 KECU pour ARMINES).

Actions d'animation et de transfert technologique auprès des industriels

Responsabilité de divers contrats industriels :

d'une durée au plus égale à un an dont les suivants :

Valorisation de déchets miniers - COGEMA - 2 contrats ANVAR - 1991-1992.

Caractérisation de roche en vue d'une modification de technique d'exploitation - VICAT - 1994.

Mise au point d'un béton spécial - MERIDIONALE DES TRAVAUX - 1994 -1995. (100 KF).

Valorisation de déchets et redéploiement de l'exploitation - Carrière LAUZE - ANVAR 1995.

Evaluation de gisement - SIFRACO - 1995.

Caractérisation physico - mécanique de bétons - 2000 , ayant fait l'objet du rapport RT00/CT00-100/18

Etat de la filière Pierre en Languedoc-Roussillon – Pôle Construction L-R -2001 (120 KF) ayant fait l'objet du rapport RT01/CT00-112/08

Etude du comportement thermo - mécanique de structures de génie civil - 1999 – (176 KF) ayant fait l'objet du rapport RT99/CT99-(019-030)/02 du 06/01/2000 CONFIDENTIEL

Etude du comportement thermo - mécanique de structures de génie civil - 2000 – (180 KF) ayant fait l'objet du rapport RS00/CT00-007/02 du 05/12/2000 CONFIDENTIEL

Etude du comportement thermo - mécanique de structures de génie civil – 2002-a – (240 KF) , ayant fait l'objet du rapport RS02//CT00-146/07 du 30/09/02 CONFIDENTIEL

Etude du comportement thermo - mécanique de structures de génie civil – 2002-b– (220 KF) , ayant fait l'objet du rapport RS02//CT00-147/1 du 29/11/02 CONFIDENTIEL

pluri-annuels dont les suivants :

Négociation et réalisation du contrat BOUYGUES, Direction scientifique - Malaxage de bétons et mortiers particuliers et caractérisation physico-mécanique - 1991-1992 (100 KF).

Négociation et début de réalisation du contrat SALINS du MIDI - Etude de bétons particuliers pour cristallisoirs - 1992-1993 (100 KF).

Etude de la variabilité dans le temps de caractéristiques de déchets industriels – SOLAMAT-1995-1996

Mise en valeur de cinq carrières de pierre ornementale - Chambre Métiers 48 - 1996-97 (83 KF).

Etude du comportement de joints de prédalles précontraintes – SARET – 2000-2001 (250 KF)

Etude par réseaux de neurones du comportement thermo-mécanique de structures de génie civil – AREVA – 2007 – 2009 (45 K€)

Suivi de la stabilité des fronts de la carrière de Souraïde – Groupe DURRUTY – 2008-2012 (37 k€)

Accueil de créateurs d'entreprises :

Du 02/05/1996 au 30/04/1997, M. LAFORGUE, créateur d'entreprise a été accueilli au LP3MG puis au LGERM, correspondant M. VINCHES.

M. LAFORGUE a créé une entreprise de conseil pour l'optimisation de l'utilisation de flottes d'engins de chargement et transport en grandes mines à ciel ouvert. Il a développé et implémenté sur site et sur les engins des capteurs-émetteurs, et le traitement des signaux nécessaire à cette optimisation en temps réel, initialement sur la base d'un couplage GPS. LOGIMINE a une activité reconnue internationalement en 2008, et à fait l'objet de divers articles dans la presse technique spécialisée.

Du 01/10/1999 au 01/10/2002, P. FENART, créateur d'entreprise a été accueilli au LGERM, correspondants JP HENRY, puis M. VINCHES.

P. FENART après une phase de création d'entreprise dans l'incubateur de l'Ecole des Mines d'Alès, gère la société HYDROFIS qui a pour objet l'étude des milieux fissurés aquifères et le conseil auprès des exploitants de la ressource en eau de tels réservoirs.

Du 01/09/2005 au 30/11/2007, Georgia POURSOU LIS a été accueillie au CMGD, pour créer son entreprise de conseil et expertise en matière parasismique sur le patrimoine bâti. Après formation de sa responsable à divers aspects techniques de l'activité en génie civil et bâtiment, cette société, créée début 2008, est en cours de développement.

Activités collectives, et divers

Membre du Comité Français de Mécanique des Roches

Membre du comité scientifique et d'organisation du XIX^e congrès mondial de l'IAHS (International Association for Housing Science), 170 participants, 32 nationalités, ALES, 23-27 septembre 1991.

Représentant de l'EMA au Comité Technique du Projet National "Voies Nouvelles du Béton" 1989/1992.

Responsable de l'organisation du colloque "la Pierre : archéologie, architecture, développement local", Ecole des Mines d'Alès, Centre Camille Jullian, 5-6 juin 1997, ALES.

Responsable de l'organisation du tournage d'un téléfilm de vulgarisation « modèles d'Aqueduc » de 11 minutes, pour la chaîne franco-allemande ARTE, émission Archimède, diffusé le 9 mars 1999, présentant l'ensemble des travaux conduits autour de l'aqueduc d'Arles au franchissement du vallon des Arcs, et notamment dans le cadre de la thèse de D. RAFFARD.

Responsable de l'organisation de la journée « Filière Pierre en Languedoc-Roussillon », 10 novembre 2000, 70 personnes.

Membre de divers comités et associations scientifiques : conseil scientifique du Pôle Construction Languedoc-Roussillon ; comité de suivi des travaux de restauration des Arènes de Nîmes, mis en place par la DRAC Languedoc-Roussillon ; du groupe de travail du CEFRACOR : « Durabilité des Pierres » ; du PCR sur la Pierre à Marseille, en association avec le Centre CNRS Camille Jullian - MMSH d'Aix en Provence.

Animateur qualité de janvier 1997 à juin 1998 au LGERM au sens de la norme ISO 9001 pour les activités du laboratoire (responsable M. Vinches) et de l'option (responsable D. Raffard).

Membre du Conseil Scientifique Technique et Industriel, pôle régional Transfert L-R.

Expert ANR, Programme RISK NAT, appel à projet 2009.

“Reviewer” pour l'*International Journal of Solids and Structures*.

ANNEXE E: PUBLICATIONS A “FACTEUR D’IMPACT”