

le GRECO « géomatériaux » : objectifs et programme de recherches

GRECO « geomaterials » : objectives and research program

F. DARVE

GRECO « Rhéologie des Géomatériaux » *

Rev. Franç. Géotech. n° 46, p.p. 5-7 (janvier 1989)

1. INTRODUCTION

Le Groupement d'Etudes Coordonnées (GRECO) « Rhéologie des Géomatériaux (sols, bétons, roches) » est un « laboratoire hors les murs » du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), rattaché à son département des Sciences Physiques pour l'Ingénieur et composante du Programme de Recherches en Génie Civil PROGEC du Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur (MRES). Le GRECO « Géomatériaux » a été créé le 1^{er} janvier 1986 pour une durée de 4 ans, renouvelable.

Sa vocation est de coordonner des recherches en génie civil tant en ce qui concerne les laboratoires d'écoles d'ingénieurs et d'universités que les départements « recherche » des centres techniques, des grands organismes et des bureaux d'études pour développer des outils de conception et de calcul des ouvrages de génie civil au meilleur niveau international. Les travaux du GRECO doivent être considérés comme se situant « en amont » des recherches menées par ailleurs dans le cadre des projets nationaux du programme PROGEC.

2. OBJECTIFS ET CHAMP COUVERT

L'objectif central du GRECO est la modélisation numérique en géotechnique et en géomécanique, en prenant en compte la méthodologie usuelle nécessaire à la résolution d'un problème industriel en génie civil :

- première étape constituée par la mesure et l'analyse des propriétés mécaniques des matériaux mis en jeu ;
- deuxième étape permettant de formuler le ou les modèles de comportement décrivant les propriétés mécaniques ;
- troisième étape débouchant sur le développement d'un code de calculs (le plus souvent utilisant la méthode des éléments finis), aide à la conception de l'ouvrage ou à l'analyse de son comportement (si nécessaire sous sollicitations extrêmes).

Nous rassemblons ainsi au sein du GRECO des compétences dans ces trois domaines : essais, lois de com-

portement, codes de calculs. Il est, en effet, très important, pour qu'elle soit opératoire, de bien situer la rhéologie des matériaux dans le contexte plus large des bases expérimentales, qui la nourrissent en quelque sorte, et des codes de calcul, qui représentent son débouché naturel.

En second lieu, le champ couvert par le GRECO concerne ce que nous avons regroupé sous le terme générique de « géomatériaux », c'est-à-dire les sols, les bétons et les roches.

L'unité de ces trois matériaux du génie civil est en effet profonde. Leurs déformations sont, pour une grande part, irréversibles et leurs domaines d'élasticité approchée varient largement avec l'histoire des sollicitations jusqu'à, parfois disparaître. Leurs critères de plasticité sont sensibles à la pression moyenne et, en première approximation, de type Mohr-Coulomb. La rupture des géomatériaux se produit généralement après une phase de dilatance sous cisaillement, qui peut être remarquablement importante. Pour certains niveaux de contrainte, cette rupture se développe par localisation des déformations le long de bandes de cisaillement. Enfin, ces trois matériaux sols, bétons, roches, peuvent être étudiés avec le même type d'appareillage de laboratoire : l'appareil triaxial.

Il était donc a priori intéressant de faire se rapprocher des spécialistes de ces trois matériaux, ne serait-ce que pour que chacun profite des avancées réalisées par les autres sur tel ou tel point et pour mettre en place une dynamique d'ensemble.

3. LES STRUCTURES

Les structures du GRECO, laboratoire hors les murs, sont du même type que celles de tout laboratoire du CNRS.

Un comité scientifique, présidé par Jean SALENÇON, comprend 16 membres représentant le CNRS, le MRES

* Institut de Mécanique de Grenoble, B.P. 68, 38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex.

et la profession du génie civil. Le Comité fixe les grandes orientations du GRECO, discute de son évolution et évalue ses résultats en coopération avec les rapporteurs du GRECO au sein du Comité d'Orientation de la Recherche en Génie Civil (CORGEC). La prochaine réunion du Comité devrait se tenir au printemps 1989.

Le directeur du GRECO, Félix DARVE, a été nommé pour 4 ans par le directeur général du CNRS.

Le Conseil du GRECO est constitué de 9 membres du GRECO :

— 6 universitaires viennent de l'Institut de Mécanique de Grenoble, du Laboratoire de Mécanique des Solides à l'Ecole Polytechnique, de l'Ecole Centrale de Paris, de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan et de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ;

— 3 chercheurs, représentant la profession, sont issus du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, de l'Electricité de France et de l'Institut Français du Pétrole.

Sur le plan scientifique, le GRECO est divisé en groupes de travail. La liste des 9 thèmes et noms des animateurs de ces 9 groupes est donnée dans le tableau 1.

A l'intérieur de ces 9 groupes de travail ont été définis, en 1987, 13 projets de recherche. Ces projets concernent des axes de travail bien cernés, sur lesquels se sont regroupées de petites équipes de chercheurs (universitaires et professionnels) parfaitement identifiés. La responsabilité des projets est assurée par des « pilotes », qui établissent un rapport d'activité annuel. La liste des 13 projets retenus en 1987 et leurs pilotes est donnée dans le tableau 2.

Une réunion scientifique annuelle du GRECO se tient durant une semaine en décembre et permet à la fois

Tableau 1. — Les 9 groupes de travail et leurs animateurs.

Table 1. — The 9 working groups and their leaders

- Groupe 1 : « Géomatériaux cohérents »
Animateurs : P. BEREST (LMS)
et J. MAZARS (LMT).
- Groupe 2 : « Géomatériaux non cohérents »
Animateur : J. LANIER (IMG).
- Groupe 3 : « Sols non saturés »
Animateur : J.-J. FRY (EDF).
- Groupe 4 : « Sols renforcés »
Animateurs : J.-P. GOURC (IRIGM)
et F. SCHLOSSER (CERMES).
- Groupe 5 : « Localisations, discontinuités, fissuration »
Animateur : J. DESRUES (IMG).
- Groupe 6 : « Validation de modèles »
Animateur : Y. MEIMON (IFP).
- Groupe 7 : « Dynamique »
Animateur : T. AVRIL (EDF).
- Groupe 8 : « Modèles numériques »
Animateurs : D. AUBRY (ECP) et P. HUMBERT (LCPC).
- Groupe 9 : « Probabilités et statistiques »
Animateur : J.-L. FAVRE (ECP).

d'enrichir, de rectifier et d'évaluer le travail de chacun des 9 groupes et de discuter des projets de recherche à renouveler ou à mettre en place l'année suivante.

Enfin, une trentaine d'unités de base du GRECO, sous la responsabilité des « correspondants de centres », sont mises en place dans une trentaine de laboratoires d'écoles, d'universités, de centres techniques, de grands organismes et de bureaux d'études.

Ces unités de base regroupaient en 1987 environ 180 chercheurs, membres du GRECO.

4. PROGRAMME DE RECHERCHES

Le premier groupe de travail étudie le comportement mécanique des roches, du béton et du béton armé. En ce qui concerne les roches, l'accent est mis sur l'étude de leur fissuration en liaison avec les effets différés (fluage, relaxation) et sur le rôle de la température. Une roche type a été choisie : le grès de Fontainebleau. Le comportement du béton est étudié sous charges multi-

Tableau 2. — Les 13 projets de recherche et leurs pilotes.

Table 2. — The 13 research projects and their heads

- Groupe 1 : « Géomatériaux cohérents »
Projet 1 : roches (fissuration, température) : P. BEREST.
Projet 2 : bétons (comportement multiaxial) : P. ACKER, J. MAZARS.
Projet 3 : béton armé : J.-M. REYNOUARD.
- Groupe 2 : « Géomatériaux non cohérents »
Projet 4 : sols et bétons bitumineux (comportement sur chemins complexes) : P. HICHER, J. LANIER.
- Groupe 3 : « Sols non saturés »
Projet 5 : comportement polyphasique des sols : J.-J. FRY.
- Groupe 4 : « Sols renforcés »
Projet 6 : comportement local sol-inclusion : J.-P. GOURC.
- Groupe 5 : « Localisation, discontinuités, fissuration »
Projet 8 : cisaillement localisé : M. BOULON, J. DESRUES.
Projet 9 : fissuration des géomatériaux cohérents : P. ROSSI.
- Groupe 6 : « Validation des modèles »
Projet 10 : validation : Y. MEIMON.
- Groupe 7 : « Dynamique »
Projet 11 : dynamique des sols : T. AVRIL.
- Groupe 8 : « Modèles numériques »
Projet 12 : algorithmes non linéaires : P. HUMBERT.
Projet 13 : modélisation des discontinuités : D. AUBRY.
- Groupe 9 : « Probabilités et statistiques »
Projet 14 : valorisation de l'information sur les géomatériaux : J.-L. FAVRE.

axiales complexes et des modélisations sont développées et comparées (modèle avec endommagement, modèle incrémental non linéaire, modèle stochastique). Enfin, le béton armé est considéré avec prise en compte de l'interaction béton-armatures.

Le deuxième groupe de travail est centré sur le comportement des sables, des argiles et des bétons bitumineux pour des chemins de sollicitation tri-dimensionnels et en torsion-traction-compression. Les différents moyens d'essais français sont mis en commun pour des études coordonnées complémentaires. A la suite du projet-conjoint de recherches entre l'Institut de Mécanique de Grenoble et l'Université de Cleveland (USA) dans le cadre des échanges entre le CNRS et la National Science Foundation, une banque de données françaises sur les essais de sols a été initiée. Des modèles élasto-plastiques et incrémentaux non linéaires sont calibrés et leur validité étudiée.

Le troisième groupe de travail a comme thème le comportement des sols non saturés et leur modélisation. Des techniques aussi différentes que le psychromètre, la membrane osmotique ou le banc double source sont développées au sein du groupe et vont déboucher sur de nouvelles analyses de la non-saturation et sur la mise au point de nouveaux outils de calcul.

Le quatrième groupe de travail a comme objectif l'étude du comportement des sols renforcés. Là-encore, essais et modélisations sont développés en synergie étroite à travers des études locales de l'interaction sols-armatures et des analyses globales des caractéristiques du milieu homogène équivalent à l'ensemble du sol et de ses renforcements. Le comportement des sols renforcés sous charges cycliques et dynamiques sera abordé sur la base de ces études statiques.

La rupture des géomatériaux se produit le plus souvent par localisation des déformations et formation de bandes de cisaillement pour les géomatériaux les plus ductiles ou par développement de macro-fissurations pour les plus fragiles. Ces aspects font l'objet des travaux du cinquième groupe, où convergent des analyses théoriques de la rupture en tant que problème de bifurcation et des techniques expérimentales de cisaillement annulaire et de stéréophotogrammétrie. Le développement de la fissuration en milieu poreux saturé donne également lieu à des études théoriques originales.

Pour améliorer les performances des grands codes de calcul français, il faut dans une première étape les comparer entre eux et cerner leurs domaines de validité. Ceci représente l'objectif du sixième groupe « Validation des modèles sur ouvrages types ». Une méthodologie a été définie et les premiers dossiers de validation constitués. Des discussions sont menées, sur le plan international, pour que ces travaux puissent s'intégrer correctement dans la procédure de « benchmark », engagée par O.C. ZIENKIEWICZ.

La dynamique des géomatériaux est aujourd'hui une question de première importance par les enjeux industriels qui y sont liés. Les résultats d'essais de laboratoire et d'essais in situ sont comparés pour aboutir à une détermination plus sûre des caractéristiques dynamiques des sols. Des modélisations numériques sont également développées et validées. Une extension vers le génie

para-sismique a été mise en place au début de l'année 1988 au sein de ce septième groupe « dynamique ».

Le huitième groupe « Modèles numériques » se consacre aux questions numériques proprement dites à travers deux projets de recherche, qui visent le premier à étudier les algorithmes et les méthodes de résolution des grands systèmes d'équations non linéaires (apparaissant dans l'utilisation de la méthode des éléments finis) et le second à la prise en compte de l'apparition et du développement de discontinuités cinématiques (telles que macro-fissurations et surfaces de glissement) au sein d'un maillage d'éléments finis. Ces travaux devraient permettre prochainement de mener un calcul unique depuis la phase de déformation diffuse jusqu'à la rupture avec un mode de déformation strictement localisée.

Enfin, le neuvième groupe « Probabilités et statistiques » est centré sur l'application des outils probabilistes et statistiques aux géomatériaux, en particulier en relation avec l'aléa spatial et les différents modes de mises en place possibles.

Par ailleurs, l'année 1987 a vu la mise en place de deux réseaux de calculs, l'un centré sur l'Ecole Centrale de Paris avec un ordinateur parallèle ALLIANT F 8 et l'autre sur le Centre Inter-universitaire de Calculs de Grenoble avec un super ordinateur FPS 264.

Un projet de coopération européenne a également été déposé, qui devrait permettre de rassembler autour du GRECO et sur le thème de la modélisation numérique en génie civil, les cinq universités européennes les plus avancées dans ce domaine : Université Technologique de Delft, Institut Polytechnique de Milan, Université-Collège de Swansea, Université de Madrid, Université de Manchester.

5. CONCLUSIONS

Le GRECO se veut très clairement une structure de coopération universités-entreprises et espère contribuer à porter les outils de calcul et de conception des ouvrages, utilisés par le génie civil français, au meilleur niveau international.

Le GRECO se veut efficace par sa structuration en projets de recherche, précis dans leur thématique et bien définis dans leur composition : il s'agit du niveau opératoire où les chercheurs sont personnellement impliqués autour d'un axe de recherche parfaitement identifié.

Enfin, le GRECO possède une certaine puissance par l'ampleur des forces rassemblées, en particulier à travers la réunion scientifique annuelle qui permet les échanges approfondis inter-groupes nécessaires.

Nous avons choisi de présenter un ensemble cohérent centré autour de l'un des groupes de travail : en l'occurrence, le groupe 7 consacré à l'étude de la « dynamique des géomatériaux ». Les quatre articles qui suivent montreront ainsi quatre aspects des travaux menés au sein de ce groupe.

