



Comité Français de Mécanique des Roches

50^{ème} Anniversaire

LE DÉVELOPPEMENT DE LA MÉCANIQUE DES ROCHES EN FRANCE

MARC PANET



Le développement de la mécanique des roches en France

- Quelques lignes directrices :
 - - De la mécanique des sols à la mécanique des roches
 - - L'exploitation des Mines et les pressions de terrain
 - - L'interprétation géologique des déformations mécaniques et des ruptures des roches
 - - Les ouvrages de génie civil fondés sur des roches
 - - Le creusement des galeries et tunnels du génie civil
 - - L'exploitation des gisements pétroliers
 - - La recherche universitaire
 - - Des accidents graves

La Mécanique des Roches sœur cadette de la Mécanique des Sols

- Une frontière floue entre les deux disciplines
- Des experts en mécanique des sols furent des pionniers de la mécanique des roches en France.
- Création du Laboratoire de Mécanique des Solides en 1961

Armand Mayer (1894-1986)



Jean Mandel (1907-1982)



Pierre Habib



La création du Comité Français de Mécanique des Roches

- 1957 – Commission ANRT « chargée de l'étude des questions spéciales de mécanique des roches.
- 1966 – 1^{er} Congrès International de Mécanique des Roches à Lisbonne.
- 1967 – Création formelle du CFMR

Président : Jean Mandel

Vice-présidents : Pierre Habib, Pierre Londe, Edouard Tincelin

Secrétaire : Pierre Duffaut

Trésorier : Guy Baron

L'exploitation des mines et les pressions de terrain

- Nombreux ouvrages et publications sur les pressions de terrain, les modes d'excavation et les soutènements
 - Charles Pierre Mathieu COMBES – Traité d'exploitation des mines (1844)
 - La Société de l'Industrie Minérale créée à Saint Etienne en 1855
 - Edouard TINCELIN (1920- 2010)

Charles Pierre Mathieu COMBES – Traité d'exploitation des mines (1844)

- Chapitre V

Ebauche de classification des roches pour la réalisation de galeries souterraines :

- Roches dures excavées à la poudre ou avec la pointerolle (granit)
- Roches mi-dures excavées avec le pic et les coins en fer, galeries soutenues par des étais en bois
- Roches tendres non ébouleuses soutenues par des étais en bois ou des revêtements maçonnés après une longueur d'excavation plus ou moins grande selon la solidité des terrains
- Les terrains ébouleux ou coulants dans lesquels le boisage ou le muraillement doivent intervenir très près de l'excavation ou même précéder le creusement de la galerie

La Société de l'Industrie Minérale

- Organisme représentatif de tous les secteurs des industries extractives créé en 1855 à Saint Etienne
- La Revue de l'Industrie Minérale a publié de nombreux articles et numéros spéciaux ayant trait à la mécanique des roches.

Mandel J. (1959) Les calculs en matière des pressions de terrain. Revue de l'Industrie Minérale. Saint Etienne.

Elle a été l'éditeur des Cahiers du CFMR de 1968 à 1975

Edouard Tincelin (1920- 2010)

Ingénieur d'exploitation dans les mines de fer de Lorraine,
puis rattaché au service technique de la Chambre Syndicale
des Mines de Fer de Lorraine

Thèse – Pressions et Déformations de Terrain dans les Mines de Fer de Lorraine (1955)

Professeur à l'Ecole des Mines de Paris (1959)

Création d'un centre de recherches à l'Ecole des Mines de Paris

Principaux collaborateurs en mécanique des roches : Jacques Fine, Gérard Vouille,
Philippe Weber, Michel Duchène

Principales contributions : développement des mesures de contraintes et de
déformations, le boulonnage (soutènement suspendu), l'abattage mécanique des roches



L'après-mine

- Après la fin de l'exploitation et la fermeture des mines, nécessité de poursuivre la surveillance afin de prévenir des accidents
- Suite à plusieurs effondrements de carrières souterraines à Paris, création par Louis XVI en 1877 de l'Inspection Générale des Carrières.
- Exemple : le bassin ferrifère lorrain

Création du Groupement d'Intérêt Scientifique sur l'Impact et la Sécurité des Ouvrages Souterrains (GISOS) avec quatre partenaires : INERIS, BRGM, Ecole des Mines de Paris, Institut Polytechnique National de Lorraine (1999)

Josien J.P., Piguet J.P., Vouille G., Apport des retours d'expérience pour la mise en sécurité des mines de fer de Lorraine, Revue Française de Géotechnique n°131/132, 2010.

L'apport de la mécanique des roches à la compréhension de phénomènes géologiques

- Recherche d'une explication mécanique des déformations et des discontinuités des formations géologiques.

Goguel J. Introduction à l'étude mécanique des déformations de l'écorce terrestre. Mémoire pour servir à l'explication détaillée de la carte géologique de France. 1^{ère} édition 1942, 2^{ème} édition 1948

Etude théorique et expérimentale de la déformation plastique des roches

Etude de la répartition des contraintes

Approche énergétiques de la déformation des couches géologiques

Considérations sur la similitude

Jean Goguel (1908-1987)



Le développement de la mécanique des roches en France et le génie civil

Les barrages

Les tunnels et ouvrages souterrains

La stabilité des pentes et des versants

Les fondations des ouvrages

- Les aménagements hydroélectriques

Premier ouvrage sur la mécanique des roches :

Talobre J. (1957) La mécanique des roches. Ed, Dunod. Paris. 2^{ème} édition 1964.

Le service géologique d'EDF : Claude Bordet, Pierre Duffaut

Le bureau Coyne et Bellier

- La création d'une section de mécanique des roches au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées par Jean Berthier

La mécanique des roches appliquée aux ouvrages de génie civil. Ed, ENPC, Paris (1976)

Le développement de la mécanique des roches en France et le génie pétrolier

- La stabilité des puits
 - La fracturation hydraulique
 - La foration des roches
 - Le comportement des réservoirs
- Institut Français du Pétrole : Guy Baron, Pierre Le Tirant, Jean-Paul Sarda, Maurice Boutéca
 - Elf Aquitaine : Vincent Maury, Dominique Fourmaintraux, Alain Guénot
 - Total : Philippe Charlez

Charlez Ph. Rock Mechanics Ed. Technip Vol.1 (1991) Vol.2 (1996)

Le stockage souterrain

- Les cavités lessivées dans le sel

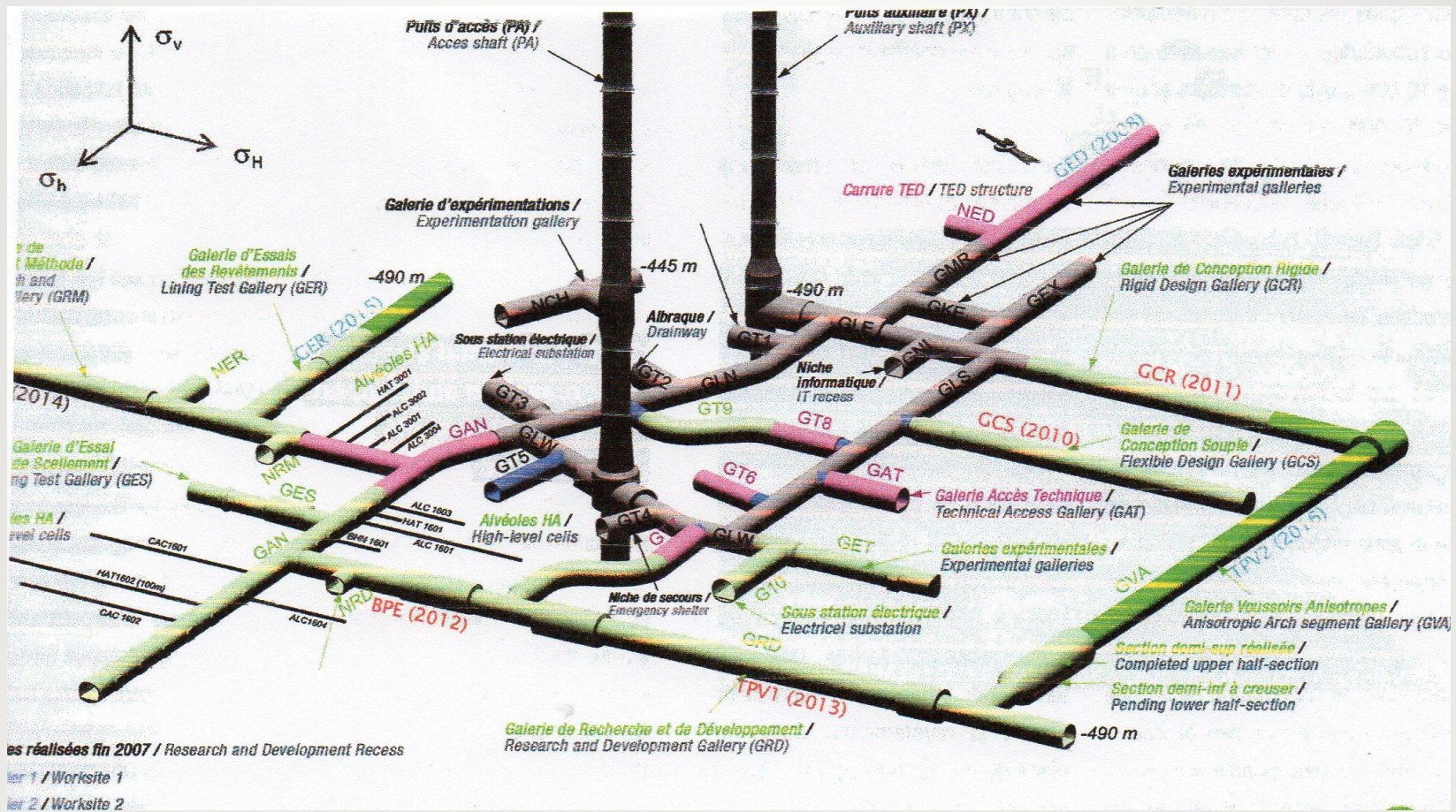
Bérest P. Brouard B., (2013), Mines et Cavités salines, Manuel de Mécanique des roches, Tome III, 3^{ème} partie.

- Les cavités minées

You T., (2013), Stockage souterrain d'hydrocarbures, Manuel de Mécanique des roches, Tome III, 4^{ème} partie.

- Le projet de stockage souterrain des déchets radioactifs

Le Laboratoire Souterrain de Meuse Haute Marne de l'Andra



La recherche universitaire

- Le Laboratoire de Mécanique des Solides
- Les centres de recherches des Ecole des Mines
- L'Ecole de Géologie de Nancy
- L'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
- Les universités : Grenoble, Toulouse, Bordeaux, Lille

Les accidents

- 1248 - Eboulement du Mont Granier
- 1774-1777 - Effondrement des carrières rue d'Enfer à Paris
- 1873 - Effondrement de la mine de sel de Varangéville
- 1959 – La rupture du barrage de Malpasset
- 1961 – Effondrement des carrières à Clamart
- 1964 – Effondrement de la carrière souterraine du Mont Rivel à Champagnole
- 1970 – La coulée du Plateau d'Assy
- 1971 – L'effondrement du tunnel ferroviaire de Vierzy

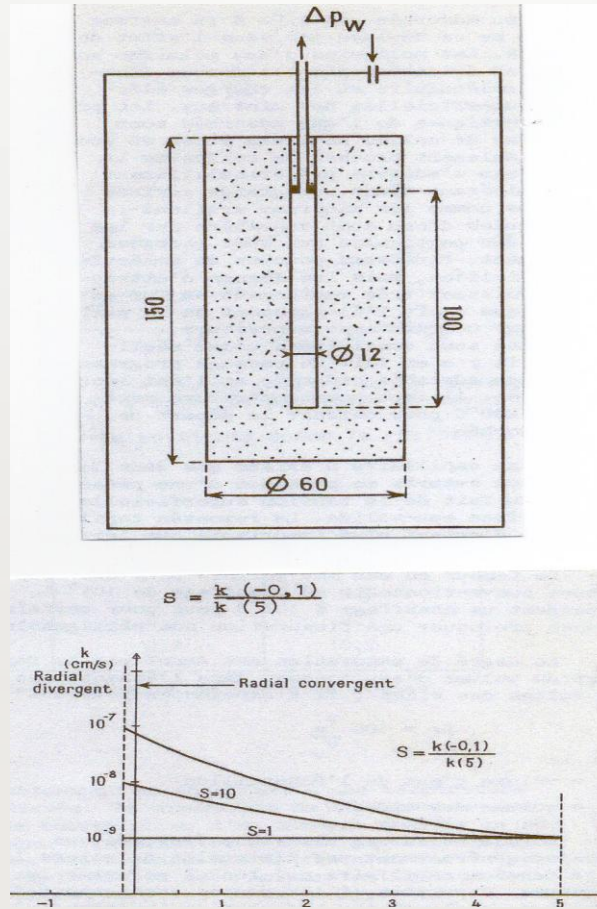
La rupture du barrage de Malpasset



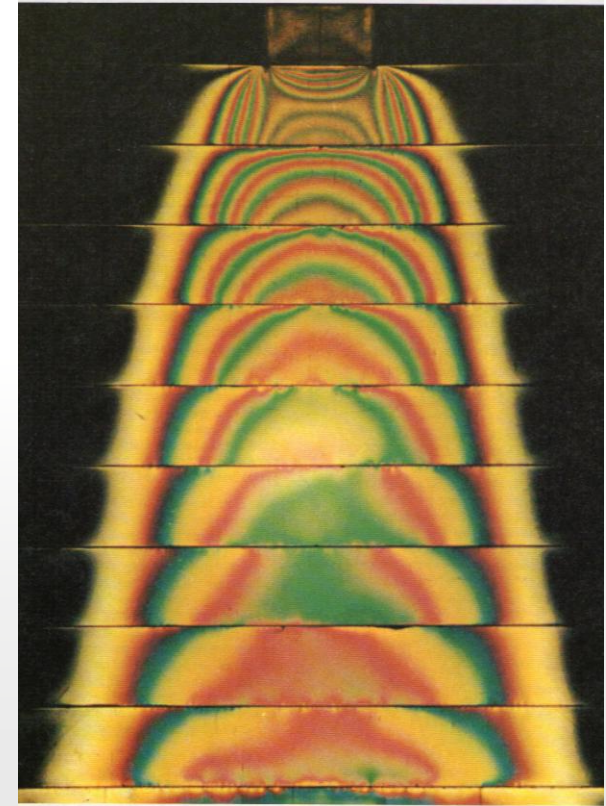
La rupture du barrage de Malpasset

- Carrère A. (2010), *Les leçons de Malpasset, leur application aux projets d'aujourd'hui*, *Revue Française de Géotechnique*, Paris.
- Habib P., Duffaut P. (2013), *La rupture du barrage de Malpasset, Manuel de Mécanique des Roches, Tome IV*, Presses des Mines, Paris.
- Travaux de recherches et thèses pour l'explication de la rupture :
 - Bernaix J. (1967), *Etude géotechnique de la roche de Malpasset*, Dunod, Paris.
 - Maury V. (1969), *Mécanique des milieux stratifiés*, Dunod, Paris.
 - Louis C. (1967), *Ecoulement de l'eau dans les roches fissurées*, Thèse Karlsruhe
 - Londe P. (1965), *Une méthode d'analyse à trois dimensions de la stabilité d'une rive rocheuse*, *Annales des Ponts et Chaussées*.

Jean Bernaix - Essai de percolation radiale

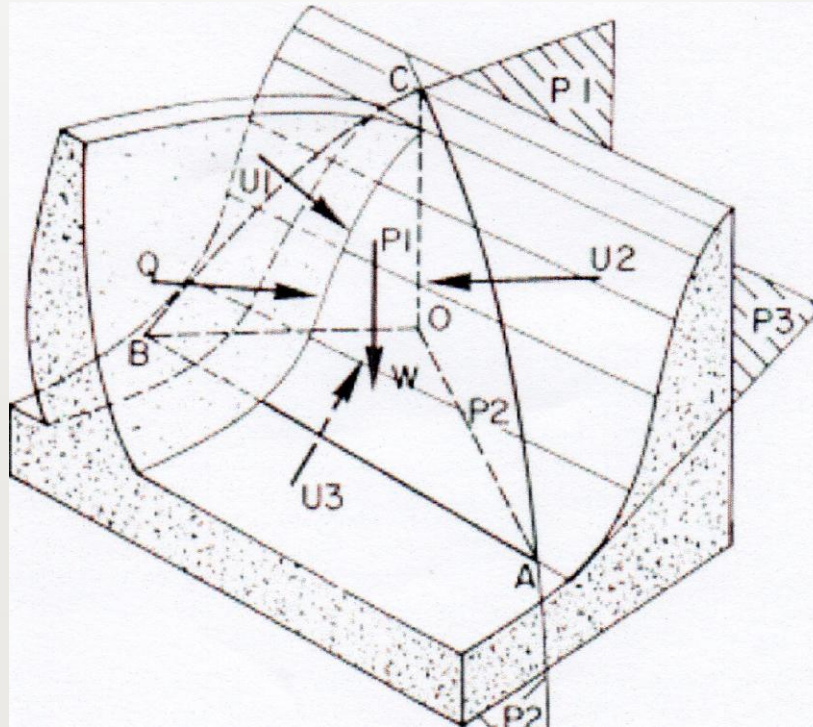


Vincent Maury
Modèle Photoélastique
Distribution des contraintes dans un
milieu stratifié



Pierre Londe

Analyse à trois dimensions de la stabilité d'une rive rocheuse de barrage



Pierre Londe (1922-1999)



- Disciple d'André Coyne
- Les barrages en terre compactée avec Georges Post (1953)
- Explication scientifique de la rupture du barrage de Malpasset

Londe P. (1973), la mécanique des roches et les fondations des grands barrages, ICOLD

- Président de la Commission Internationale des Grands Barrages

Effet d'échelle – Essais in situ – Auscultation et retours d'expériences

- Des propriétés mécaniques à l'échelle de l'échantillon à celles du massif rocheux à l'échelle des ouvrages
- Développements d'essais in situ sur des volumes représentatifs des massifs rocheux :
 - Les essais de rupture de piliers
 - Les essais de déformabilité des massifs rocheux
 - La résistance au cisaillement des discontinuités
- Les retours d'expérience – Développement des classifications géotechniques

Essai sur pilier de la mine de fer de Mancieulles (base 2,1x2,1 mxm)

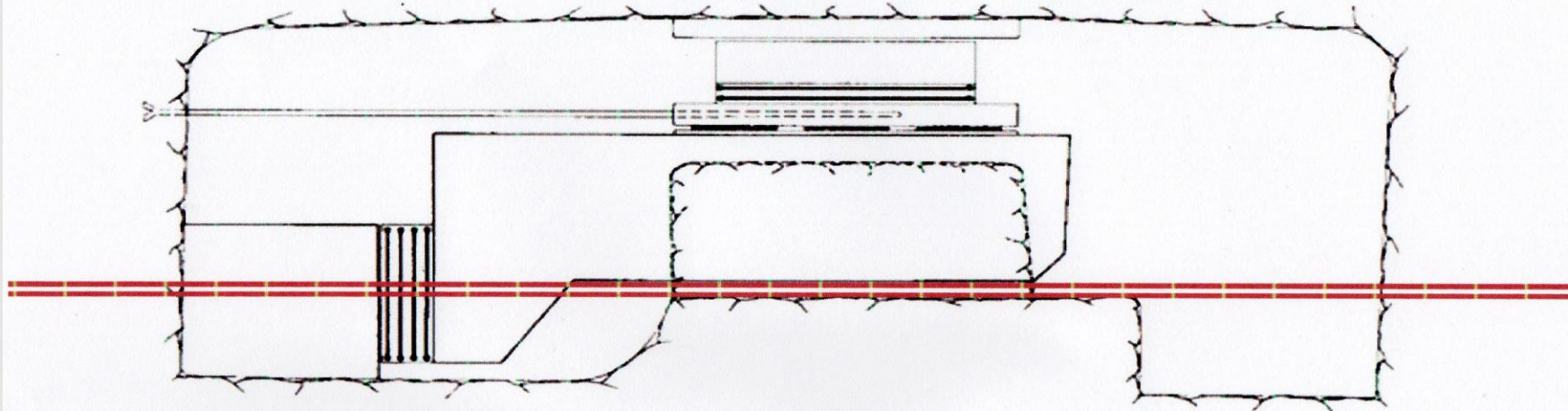




Essais in situ de déformabilité des massifs rocheux

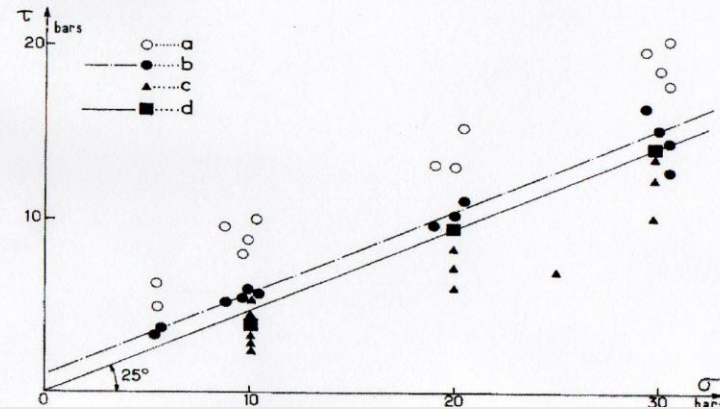
- Essais de plaques rigides de grand diamètre
- Essais dilatométriques : Mederatec (EDF – Comes – 1965)
- Mise en pression de galeries (conduites forcées)

BARRAGE de VOUGLANS



Essai de cisaillement
in situ sur le joint 340

Pas d'effet d'échelle
sur le frottement



Des modèles physiques à l'auscultation et à la modélisation numérique

- Les modèles physiques :

La photoélasticimétrie

Modèles réduits des ouvrages et des massifs rocheux encaissants

Impossibilité de respecter les lois de similitude, notamment pour les forces massiques

Tentatives avec l'utilisation du gradient hydraulique et la centrifugation.

Des modèles physiques à l'auscultation et à la modélisation numérique

- La modélisation numérique par différences finies et éléments finis :
 - la prise en compte des forces massiques,
 - l'introduction des lois de comportement complexes et les interactions entre les structures des ouvrages et le massif rocheux,
 - la simulation des phases de creusement et de construction,
 - les études de sensibilité (incertitudes sur les valeurs des paramètres)
 - les couplages thermo-hydro-mécaniques
- Les modèles de blocs

La modélisation numérique et le dimensionnement des tunnels

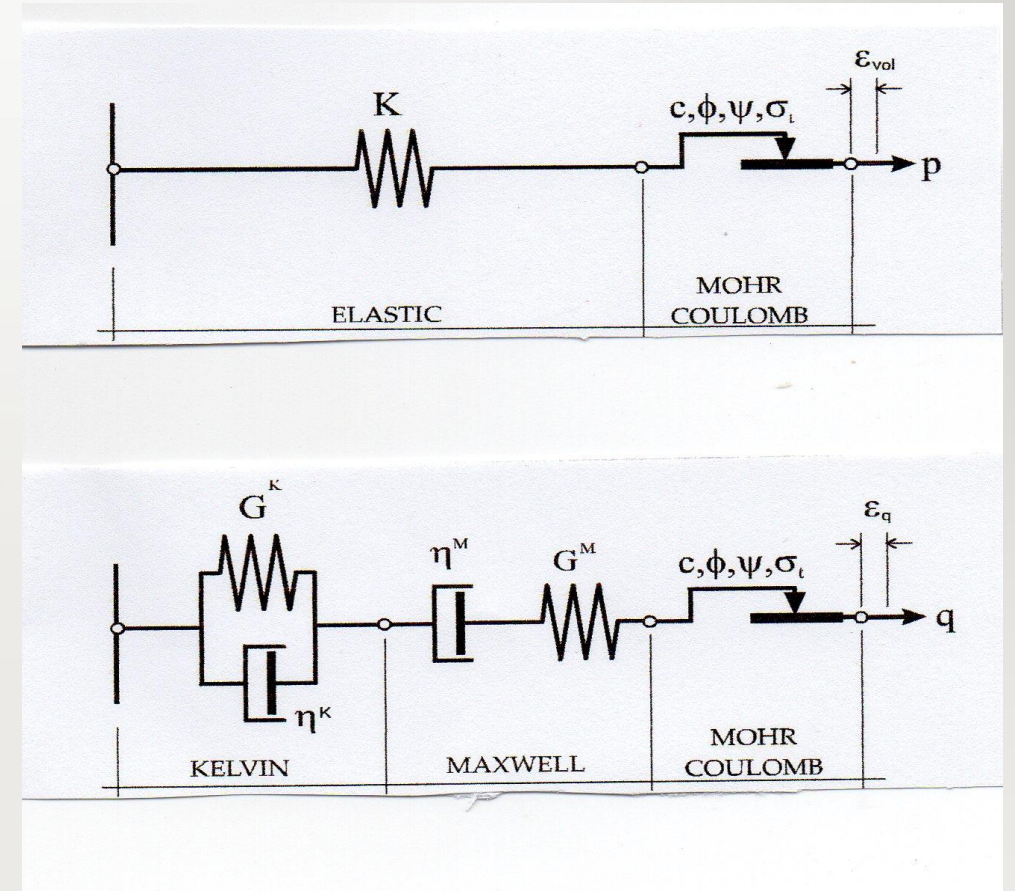
- L'introduction du taux de déconfinement dans la méthode convergence-confinement

Panet M., Guellec P., (1974), Contribution à l'étude du soutènement d'un tunnel derrière le front de taille, Proc. 3rd International Congress of Rock Mechanics, Denver.

- Développement actuel des modèles tridimensionnels avec l'introduction de lois de comportement complexes des terrains et la prise en compte de modes d'excavation et de soutènement multi phasés.

Projet de Tunnel ferroviaire Lyon-Turin

Modèle géomécanique pour le Houiller productif de Saint Martin la Porte



Les productions et publications du CFMR

- Organisation de réunions internationales sus l'égide de la SIMR
- Des écoles d'été
- L'organisation avec le CFMS et CFGI des Journées Nationales de Géologie et de Géotechnique
- La publication avec le CFMS et le CFGI de la Revue Française de Géotechnique
- Le Manuel de Mécanique des Roches

Organisation de réunions internationales sous l'égide de la SIMR

- 1971 – Symposium international de Nancy – René Houpert
- 1989 – Symposium international Rock at Great Depth, Pau – Dominique Fourmaintraux, Vincent Maury
- 1999 - 9^{ème} Congrès International de Mécanique des Roches, Paris – Pierre Bérest, Gérard Vouille

Le Manuel de Mécanique des Roches

- Tome 1 . Fondements
- Tome 2 . Applications
- Tome 3 . Retours d'expériences Génie minier et pétrolier
- Tome 4 . Retours d'expérience en Génie civil

coordonné par Pierre Duffaut

