



CFG

Géologie de l'ingénieur : actualité et perspectives

Comité Français de Géologie de l'Ingénieur
et de l'Environnement : CFGI 50 ans, 1968-2018

Préface d'Aline Quenez

CFGI, *Géologie de l'ingénieur : actualité et perspectives*, Paris : Presses des Mines, collection Sciences de la Terre et de l'environnement, 2018.

© Presses des MINES - TRANSVALOR, 2018
60, boulevard Saint-Michel - 75272 Paris Cedex 06 - France
presses@mines-paristech.fr
www.pressesdesmines.com

Couverture : *Le tunnel de l'Encombrouze traversant un versant instable au cœur de la fenêtre géologique de l'Argentière (Hautes-Alpes)*.

ISBN : 978-2-35671-519-7
Dépôt légal : 2018
Achevé d'imprimer en 2018 (Paris)

Cette publication a bénéficié du soutien de l'Institut Carnot M.I.N.E.S.
Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

Géologie de l'ingénieur : actualité et perspectives

Comité Français de Géologie de l'Ingénieur
et de l'Environnement : CFGI 50 ans, 1968-2018

Collection Sciences de la Terre et de l'environnement

Dans la même collection

- F. Pellet, *Mécanique des Roches : défis et enjeux. Actes de la conférence du jubilé du Comité Français de Mécanique des Roches*
- M. Gasc-Barbier, V. Merrien-Soukatchoff et P. Bérest, *Manuel de Mécanique des Roches Tome V - Thermomécanique des Roches*
- N. Jeannée et T. Romary, *Geostatistics for Environmental Applications. GeoEnv2014 - Book of Abstracts*
- Comité français de mécanique des roches, coordonné par P. Duffaut, *Manuel de mécanique des roches. Tome 4.*
- Comité français de mécanique des roches, coordonné par P. Duffaut, *Manuel de mécanique des roches. Tome 3.*
- Coordination I. Cojan, G. Friès, D. Grosheny, O. Parize, *Expression de l'innovation en géosciences - une journée avec Bernard Beaudoin*
- Roger Cojean, Martine Audiguier, *Géologie de l'ingénieur - Engineering geology*
- Michel Demange, *Les textures des roches cristallines*
- Collectif, *7TH Conference on the mechanical behavior of Salt*
- Coordination : José Ragot, Mireille Batton-Hubert, Florent Breuil, *Les STIC pour l'environnement*
- Michel Chalhoub, *Massifs rocheux, Homogénéisation et classification numériques*
- Michel Demange, *Les minéraux des roches, Caractères optiques Composition chimique Gisement*
- Bruno Peuportier, *Eco-conception des bâtiments et des quartiers*
- Philippe Jamet, *La quatrième feuille, Trois études naturelles sur le développement durable*
- Gabriele Rossetti, Alessandro Montanari, *Dances with the Earth, The creation of music based on the geology of the Earth*
- Sous la coordination de Franck Guarnieri et Emmanuel Garbolino, *Systèmes d'information et risques naturels*
- Comité français de mécanique des roches, Coordonné par P. Duffaut, *Manuel de mécanique des roches, Tome 2: les applications*
- Bruno Peuportier, *Eco-conception des bâtiments, Bâtir en préservant l'environnement*
- Madeleine Akrich, Philippe Jamet, Cécile Méadel, Vololona Rabeharisoa, Frédérique Vincent, *La griffe de l'ours, Débats & controverses en environnement*
- Lucien Wald, *Data fusion, Definitions and Architectures - Fusion of Images of different spatial resolutions*
- Javier Garcia, Joëlle Colosio, *Air quality indices, Elaboration, Uses and International Comparisons*
- Javier Garcia, Joëlle Colosio, *Les indices de la qualité de l'air, Elaboration, usages et comparaisons internationales*
- Richard Maillot, *Mémento technique des granulats*
- Coordinateurs : K. Scharmer, J. Greif, *The European Solar Radiation Atlas, Vol. 2: Database and Exploitation Software*
- Coordination : K. Scharmer, J. Greif, *The European Solar Radiation Atlas, Vol. 1: Fundamentals and maps*
- Comité français de mécanique des roches, Coordonné par F. Homand et P. Duffaut, *Manuel de mécanique des roches, Tome 1: fondements*
- Jacques Fine, *Le soutènement des galeries minières*

CFG I

Géologie de l'ingénieur : actualité et perspectives

**Comité Français de Géologie de l'Ingénieur
et de l'Environnement : CFGI 50 ans, 1968-2018**

Textes préparés par le Conseil du CFGI à l'occasion de l'anniversaire des 50 ans de l'Association et pour la Journée scientifique correspondante du 22 novembre 2018.

Ont participé à l'édition de l'ouvrage : Marc Brisebarre, Marianne Chahine, Roger Cojean, Isabelle Costaz, Stéphane Curtil, Xavier Daupley, Benoît Deffontaines, Daniel Deprez, Guilhem Devèze, Sébastien Dupray, Jean-Louis Durville, Denis Fabre, Jean-Alain Fleurisson, Sylvine Guédon, Johan Kasperski, Mathilde Koscielny, Véronique Merrien-Soukatchoff, Daniel Pfeffer, Aline Quenez, Monique Terrier, Vilma Zumbo.

www.cfgi-geologie.fr





le **cnam**



IFSTAR



PSL

Le Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement a organisé une Journée scientifique le 22 novembre 2018 pour fêter les 50 ans d'existence de l'Association et présenter l'ouvrage Géologie de l'ingénieur : actualité et perspectives.

A cette occasion, le CFGI et le Comité scientifique de cette Journée remercient chaleureusement les membres collectifs de l'Association qui soutiennent les activités du CFGI de longue date et les sociétés qui ont parrainé cette Journée scientifique.

Membres collectifs du CFGI



ARCADIS



Parrainages de la Journée scientifique du 22 novembre 2018



Sommaire

Préface	11
---------------	----

PREMIÈRE PARTIE - GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR

ET DE L'ENVIRONNEMENT. AIGI, CFGI : 50 ans d'histoire	15
--	-----------

Présentation	16
--------------------	----

Chapitre 1 - Géologie de l'Ingénieur et CFGI	17
--	----

Introduction	17
--------------------	----

1. Géologie de l'ingénieur : concepts de base et applications	17
2. La Géologie de l'ingénieur. Création de l'AIGI et du CFGI	24
3. Regards vers le futur	29

Chapitre 2 - Retour sur 50 ans d'activités CFGI	35
---	----

Introduction	35
--------------------	----

1. Historique des Bureaux du CFGI	35
2. Contributions du CFGI au développement de l'AIGI	39
3. Les prix et médailles de l'AIGI	41
4. Séances techniques et autres manifestations nationales	43
5. Le prix Jean Goguel	49
6. Activité éditoriale du CFGI	57
7. Manifestations internationales organisées par le CFGI	60
8. Rédaction de documents techniques	68

DEUXIÈME PARTIE - TEXTES DE GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR	79
--	-----------

Présentation	80
--------------------	----

Chapitre 1 - Textes des conférences	81
---	----

Introduction	81
--------------------	----

1. De l'évolution de la Géologie de l'ingénieur et du CFGI	83
<i>Sébastien Dupray, Jean-Louis Durville, Aline Quenez</i>	
2. Massive debris flow events on Pacific Northwest Volcanoes, USA, November 2006 : causes, effects and relationship to climate change	97
<i>S.F. Burns, R. Piro, K. Williams, and S. Sobieschek</i>	
3. Urban landslides: challenges for forensic engineering geologists and engineers	107
<i>S.F. Burns</i>	
4. Tunnelling in difficult ground. Uncertainties and decisions	119
<i>Paul G. Marinos</i>	

5. Le Référentiel Géologique de la France (RGF)	147
<i>Marc Brisebarre, Jean-Louis Durville</i>	
6. De la géologie régionale à la géotechnique locale	153
<i>Eric Tadbir</i>	
7. Les fondations des centrales nucléaires à EDF	167
<i>Gilbert Castanier</i>	
8. L'hydrogéologie de la construction : histoire récente et perspectives.....	175
<i>Gérard Monnier</i>	
9. Principes de réaménagement des mines à ciel ouvert. Un retour d'expérience	185
<i>Anne Vincent</i>	
10. Un géologue à l'ère du numérique. Itinéraire d'un lauréat du prix Jean Goguel	193
<i>Nicolas Pollet</i>	
11. Cartographie d'aléa en région parisienne : apport d'une formation géologique en alternance	211
<i>Maxime Deléglise, Sylvine Guédon</i>	
12. Évolution et révolution dans la formation des ingénieurs-géologues	217
<i>Jean-Marc Montel</i>	
Chapitre 2 - Textes de Géologie de l'Ingénieur.....	225
Introduction	225
1. Mécanismes des mouvements de versants : quelques considérations sur la rupture, la surveillance et l'évaluation des aléas	227
<i>Jean-Louis Durville</i>	
2. Barcelonnette, une commune des Alpes-de-Haute-Provence face aux risques naturels : l'expérience d'un maire	239
<i>Roger Cojean, sur la base d'un entretien avec Jean-Pierre Aubert</i>	
3. Expertise en situation de crise du glissement du Chambon	249
<i>Laurent Dubois, Samuel Dauphin, Marie-Aurélien Chanut, Geneviève Rul</i>	
4. Retours d'expérience relatifs aux glissements et éboulements avec barrage de vallées, associés au séisme de Wenchuan (Sichuan, Chine) du 12 mai 2008.....	273
<i>Roger Cojean et Jean-Louis Durville</i>	
5. Conception géologique et géomécanique des talus de mine à ciel ouvert.....	285
<i>Jean-Alain Fleurisson, Martin Grenon</i>	

6. Les projets d'ouvrages géotechniques : apports de l'observation et de la modélisation	307
<i>Alain Guilloux</i>	
7. Le management des risques pour le tunnel de Ponserand (Savoie) : outil de consolidation du modèle géologique	321
<i>Johan Kasperski, Cédric Gaillard</i>	
8. La prévention des mouvements de terrain liés à la présence de cavités souterraines : évaluation qualitative de l'état de dégradation	329
<i>Jean-Marc Watelet et Xavier Daupley</i>	
9. Les nouvelles lignes de métro souterraines du Grand Paris	339
<i>Marc Brisebarre</i>	
10. Les stockages souterrains	349
<i>Marc Brisebarre</i>	
11. Au sujet de la norme sur les missions d'ingénierie géotechnique	355
<i>Marc Brisebarre et Jean-Louis Durville</i>	
12. Plaines alluviales et ouvrages de lutte contre les inondations : exemple des ouvrages écrêteurs de crues du bassin versant de l'Oise	359
<i>Pascal Laugier</i>	
13. Interaction entre l'écoulement des nappes à Paris et l'urbanisme souterrain – retour d'expérience des crues de juin 2016 et début 2018 – Mesures de prévention	369
<i>Anne-Marie Prunier Leparmentier et Stéphanie Ventura Mostacchi</i>	
14. Les principaux types de formations meubles ou superficielles en France	381
<i>Sylvine Guédon, Roger Cojean, Jean-Louis Durville, Denis Fabre</i>	
15. Note sur la définition des « sols indurés - roches tendres » (SIRT).....	399
<i>Groupe de travail commun CFGI, CFMR, CFMS, animé par A. Guilloux</i>	
16. Quelques problématiques de géologie de l'ingénieur	415
<i>Denis Fabre, Jean-Louis Durville, Sylvine Guédon, Roger Cojean</i>	
Annexe I - Ouvrages utiles à la géologie de l'ingénieur	441
Annexe II - Bilan des activités du CFGI depuis 1968	449

Préface

Le CFGI (Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement) a été créé le 2 juin 1968. Au moment où cette préface est écrite le cinquantenaire de notre Association n'a pas encore eu lieu. Il sera célébré le 22 novembre 2018 au CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers). Cette Journée scientifique est en préparation. Elle se veut non pas une journée commémorative mais une journée tournée vers l'avenir : celui de la Géologie de l'ingénieur et de l'environnement.

La volonté de réaliser un ouvrage pour cette Journée scientifique a très vite été une évidence pour les membres du Conseil, avec la volonté d'offrir cet ouvrage le jour du Jubilé. Et ce, malgré toutes les difficultés à résoudre, notamment pour rassembler l'ensemble des informations relatives à l'histoire du CFGI, des articles illustrant notre discipline scientifique et technique, des éléments relatifs aux conférences qui seront présentées lors de cette Journée du 22 novembre.

Dans cet ouvrage nous avons voulu rendre hommage aux membres des Bureaux et des Conseils qui se sont succédé et qui ont fait l'histoire du CFGI. On verra que, depuis 50 ans, nombreux sont ceux qui ont œuvré, dans l'ombre ou la lumière, pour la vie de notre Association et pour la « défense et illustration » de notre discipline auprès des professionnels des bureaux d'études d'ingénierie et des entreprises de travaux publics, auprès des enseignants-chercheurs, auprès des plus jeunes en formation dans les domaines des sciences de la Terre ou disciplines connexes. Le CFGI, se tournant volontiers vers ces derniers avec un regard bienveillant, a eu à cœur de créer le prix Jean Goguel (premier prix décerné en 1997), ouvert à de jeunes professionnels ou chercheurs œuvrant dans le domaine de la Géologie de l'ingénieur et de l'environnement. C'est pourquoi, parler aujourd'hui du futur de la Géologie de l'ingénieur, pour eux spécialement, nous paraît très important.

L'ouvrage présente, avec détermination, la vision du CFGI sur la Géologie de l'ingénieur et de l'environnement. Il présente aussi nos regards tournés vers le futur, un futur avec de nombreux défis à relever pour notre discipline.

La journée du 22 novembre s'organisera autour des thèmes abordés régulièrement par le CFGI lors de ses séances techniques ou lors des journées régionales, à savoir : ressources naturelles, constructions, voies de communication, énergie, environnement et études de risques. Nous essaierons de mettre en lumière cet énoncé : *Observer, Mesurer, Analyser, Conceptualiser, Modéliser... Observer encore et Agir*; leitmotiv de notre discipline scientifique et technique rappelé dans notre plaquette de présentation. L'histoire a montré que sans modèle géologique et géomodèles s'appuyant sur des données d'observation et des reconnaissances appropriées, un projet ne peut être

optimisé sur les questions techniques, économiques et de sécurité. C'est la clé de la réussite de toute modélisation numérique, avec en perspective des dimensionnements d'ouvrages ou des questions de gestion des risques, avec toujours l'appui de systèmes de surveillance. Au départ, la qualité des observations et des mesures doit être contrôlée, les incertitudes dans les paramètres des modèles doivent être prises en compte. Les approches modélisatrices doivent aussi être confrontées aux événements passés et tirer profit des retours d'expérience disponibles. La Géologie de l'ingénieur trouve toute sa raison d'être dans cette réflexion.

L'histoire du CFGI est intimement liée à celle l'AIGI (Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement), vaste communauté dont nous ne sommes que le groupe français. L'ouvrage fait aussi référence à cette histoire commune, à cette aventure humaine, personnelle et scientifique où ce sont engagés nombre de nos Anciens. Le président de l'AIGI : Scott Burns (au moment où nous écrivons ces lignes) et l'ancien président Paul Marinos, seront présents parmi nous lors de ce cinquantenaire et, nous l'espérons, d'autres amis de l'Association internationale. Tous deux nous feront l'honneur de présenter une conférence, Scott Burns sur « Grands glissements de terrain et laves torrentielles » et Paul Marinos sur : « Construire des tunnels dans des conditions géologiques difficiles : incertitudes et décisions ». C'est bien sûr avec plaisir que nous accueillerons le nouveau Président qui aura été élu avant notre Jubilé.

Enfin, pour terminer, il faut rappeler que cet ouvrage doit beaucoup à Roger Cojean qui a été le chef d'orchestre des membres du Conseil qui ont œuvré afin que cet ouvrage voie le jour : Roger merci au nom de l'ensemble des membres du Conseil. Je n'oublie pas, tout spécialement, Denis Fabre, Jean Louis Durville, Sylvine Guédon, Marc Brisebarre, Sébastien Dupray, Daniel Pfefer, Véronique Merrien, Xavier Daupley, Jean-Alain Fleurisson, Monique Terrier, Guilhem Deveze, Johan Kasperski, Marianne Chahine qui ont su donner vie à cet ouvrage et auront permis que cette journée de Jubilé soit une réussite.

Aline Quenez, Présidente du CFGI

Paris, le 16 Avril 2018.

PRÉSENTATION DU CONSEIL DU CFGI (2015-2019)

Présidente : *Aline Quenez*

Vice-présidents : *Guilhem Devèze, Jean-Alain Fleurisson*

Secrétaire générale : *Sylvine Guédon*

Trésorière : *Véronique Merrien-Soukatchoff*

Membres du Conseil élus : *Isabelle Costaz, Stéphane Curtil, Xavier Daupley, Benoît Deffontaine, Johan Kasperski, Mathilde Koscielny, Monique Terrier*

Membres d'honneur : *Roger Cojean, Daniel Deprez, Daniel Pfefer*

Past-President : *Jean-Louis Durville*

Membres invités : *Marc Brisebarre, Marianne Chahine, Denis Fabre, Richard Fabre, Tatiana Maison, Louis-Marie Nadim, Vilma Zumbo*

PREMIÈRE PARTIE

**GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR
ET DE L'ENVIRONNEMENT**

AIGI, CFGI: 50 ans d'histoire

PRÉSENTATION

Cette première partie de l'ouvrage a un caractère historique.

Dans un premier chapitre les concepts de base de la Géologie de l'ingénieur et de l'environnement sont présentés, puis l'histoire de la création de l'AIGI : Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement et celle du CFGI : Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement sont racontées, enfin nos regards tournés vers le futur sont exposés.

Dans un deuxième chapitre nous avons relevé le défi de retracer 50 ans d'activités du CFGI : organisation de séances techniques nationales et de manifestations internationales, rédaction de documents techniques, organisation du prix Jean Goguel, etc.

Géologie de l'Ingénieur et CFGI

INTRODUCTION

Dans cette première partie de l'ouvrage «Géologie de l'ingénieur: actualité et perspectives – Les 50 ans du CFGI», un premier chapitre traite tout d'abord des concepts de base de la Géologie de l'ingénieur, suivant une analyse partagée par les membres du Conseil du CFGI. Les domaines d'activité et les applications de la géologie de l'ingénieur sont ensuite présentés.

Puis, la création de l'AIGI: Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement (IAEG: International Association for Engineering Geology and the Environment), dont le CFGI est le groupe français est présentée. Les éléments fondateurs de cette histoire commune sont détaillés: historique et personnes engagées dans cette aventure humaine, personnelle et scientifique. On constatera l'implication forte de Français, notamment Marcel Arnould qui fut aussi à l'origine de la création du CFGI, rapidement après celle de l'AIGI.

Enfin, prenant appui sur les expériences passées, des regards vers le futur ouvrent vers de nouvelles perspectives inexplorées et des défis, impérieux et mobilisateurs, à relever.

1. GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR: CONCEPTS DE BASE ET APPLICATIONS

Le Conseil du Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement (CFGI), groupe français de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement (AIGI), a souhaité rappeler les concepts de base de la Géologie de l'ingénieur, l'*Engineering geology* en anglais.

Nombre de nos Anciens nous ont ouvert les yeux sur le monde géologique et la Terre, notre maison commune, ainsi que sur les actions des hommes, parfois si invasives. Jean Goguel, Marcel Arnould (premiers présidents du CFGI), nous ont convaincus, parmi d'autres, des préceptes mis en avant par Ian McHarg dans son ouvrage intitulé «Design with Nature» (1^{re} édition en 1969, nombreuses rééditions). Cet architecte et urbaniste de formation y développe la notion de planification écologique qui implique des analyses globales du climat, de l'hydrologie, de la géologie et de l'hydrogéologie pour un site donné où des aménagements sont projetés. Ian McHarg, dans les années 70, a su établir son discours en opposition à la pensée dominante de l'époque,

sur l'Homme face à la Nature, développant des discussions à caractère éthique quant à l'aménagement du territoire et aux questions environnementales (le changement climatique n'était pas encore d'actualité...). «Design with Nature» pourrait être l'expression-clé de l'*Engineering geology* que l'on pourrait traduire par «Concevoir avec la Nature» ou «Concevoir en harmonie avec la Nature». En effet, les activités humaines sont sous-tendues par le mot «*Design*» et les questions environnementales dérivent directement du mot «Nature». La Nature, véritable partenaire dans nos actions techniques, doit retenir notre respect.

Cette présentation pourrait être résumée par le sous-titre de la plaquette de présentation du CFGI. *La Géologie de l'Ingénieur : Observer, Mesurer, Analyser, Conceptualiser, Modéliser... Observer encore et Agir.*

Dans les applications de la Géologie de l'ingénieur, il est habituel de distinguer, d'une part, les matériaux et les structures géologiques - sols et roches, massifs de sols et massifs rocheux, aquifères et nappes phréatiques - et d'autre part, les processus et mécanismes géologiques tels que : altérations météoriques et hydrothermales, érosions superficielles et souterraines, mouvements gravitaires de toutes sortes (affaissements, glissements de terrain et éboulements), et aussi volcanisme et activité sismique, événements liés au changement climatique, etc.

Dans chaque situation, notre défi est de mettre en œuvre une approche globale afin de pouvoir :

- D'abord, *observer la Nature*, analyser les matériaux et les structures géologiques ainsi que les processus et mécanismes géologiques.
- Ensuite, *construire des modèles conceptuels* relatifs à la Nature, puis des géomodèles et des modèles numériques relatifs aux interactions entre Nature et travaux d'ingénierie, pour enfin réaliser des simulations numériques.
- Enfin, *prendre des décisions appropriées* concernant les questions d'aménagement du territoire, par exemple, ou la conception d'ouvrages d'ingénierie, en suivant les préceptes du «Design with Nature».

Ces trois étapes d'une approche globale peuvent être développées comme suit.

Observer la Nature, mesurer, surveiller

Dans une première étape nous devons observer la Nature et mesurer de nombreux paramètres, mais à quelles échelles ?

- *Les échelles géométriques.* Différentes échelles doivent être considérées. L'échelle des minéraux et des microstructures dans les sols et les roches. L'échelle des échantillons de sol et de roche au laboratoire. L'échelle de l'affleurement, du massif de sol ou du massif rocheux, avec des caractéristiques structurales (tout spécialement les discontinuités pour les massifs rocheux), des hétérogénéités et des anisotropies. L'échelle des grandes structures géologiques : chaînes de montagnes, bassins subsidents, etc.

- *Les échelles de temps.* Différentes échelles doivent ici aussi être considérées. La microseconde ou la seconde, pour les événements sismiques ou pour les ruptures de ponts rocheux dans un versant rocheux instable. L'année, pour les cycles hydrologiques. L'année, le siècle ou le millier d'années pour le vieillissement rhéologique des matériaux et les variations du niveau des mers liées au changement climatique. Le siècle, le millier d'années ou le million d'années pour des sujets de géo-prospective tels que le fluage des matériaux, par exemple dans la perspective de stockage de déchets radioactifs.
- Associées à ces différentes échelles, échelles géométriques et temporelles, des questions scientifiques spécifiques doivent être considérées. Elles peuvent concerner *la validité des lois physiques dépendant d'effets d'échelle*, comme la loi de Darcy pour les matériaux de très faible perméabilité tels que les argilites ou des formations argileuses, comme la loi de frottement de Coulomb pour des mouvements gravitaires rapides de grandes masses rocheuses. En outre, des questions scientifiques se posent concernant le choix de paramètres de conception tels que des seuils de fluage pour certains matériaux, fonction de l'échelle de temps considérée.

Pour observer la Nature, l'absolue nécessité de réaliser des mesures en laboratoire et *in situ* est évidente mais doit être rappelée avec force.

Enfin, la surveillance s'impose toujours pour étudier en détail les comportements des matériaux et des structures géologiques ainsi que les processus et mécanismes géologiques.

Modèles conceptuels, géomodèles et modèles numériques

La deuxième étape doit être consacrée à la modélisation. Une sérieuse réflexion s'impose en amont car la modélisation ne saurait se limiter aux seules modélisations et simulations numériques (certes importantes car, *in fine*, à l'origine des prises de décision d'ingénierie).

La modélisation c'est, d'abord, une synthèse appropriée de données géologiques (structurales, pétrographiques, etc.), hydrogéologiques et géomécaniques. Aussi, l'acquisition de données appropriées est-elle nécessaire !

La synthèse de ces données doit être faite en prenant appui sur des connaissances géologiques globales ainsi que sur des connaissances hydrogéologiques et géomécaniques ou géotechniques. C'est un travail de conceptualisation qui conduit à l'élaboration de modèles conceptuels que la Géologie de l'ingénieur doit partager avec d'autres disciplines scientifiques et techniques : sciences hydrogéologiques et sciences géomécaniques (mécanique des sols et mécanique des roches).

Les modèles conceptuels doivent relever différents défis :

- Comment représenter objectivement la Nature en tant que système complexe ?

- Comment traiter les couplages multiples, lorsque des processus physiques, mécaniques, thermiques, hydrauliques et chimiques sont impliqués ensemble ?
- Comment préparer ensuite les simplifications nécessaires pour que le modèle conceptuel puisse être transcrit en un géomodèle, avec ses caractéristiques géométriques, géologiques, hydrogéologiques et géomécaniques, puis en un modèle numérique ?
- Comment évaluer le poids des paramètres techniques (conditions initiales et conditions aux limites, paramètres géotechniques et hydrogéologiques, paramètres d'interfaces, etc.) incorporés dans le modèle numérique ? Comment gérer et représenter les incertitudes dans le modèle numérique ?
- Comment mesurer ou apprécier ensuite la distance entre le modèle conceptuel, le géomodèle, le modèle numérique et la réalité ? Comment actualiser ces modèles en cours d'étude et de réalisation de travaux ?
- En conséquence, comment mettre en œuvre des systèmes de surveillance appropriés pour contrôler le comportement réel des massifs de sol et des massifs rocheux ou des ouvrages d'ingénierie ? Et, comment être prêt pour des actions adéquates en cas de divergence entre le modèle et la réalité ?

Les modèles numériques doivent être capables d'effectuer des analyses paramétriques rapides pour étudier toute la gamme des possibilités naturelles concernant les caractéristiques des matériaux géologiques. Dans certaines situations, nous devons aussi admettre, avec humilité, que les simulations numériques peuvent montrer ou révéler des processus ou des mécanismes que la Nature ne nous avait pas encore révélés ou que notre imagination n'avait pas encore envisagés.

En raison de ces défis, un sujet d'importance primordiale est l'évaluation de *la distance entre le modèle et la réalité géologique*. Ce sujet justifie, pour la Géologie de l'ingénieur, de s'appropriier toutes les composantes géologiques, hydrogéologiques et géomécaniques de cette approche globale. Bien sûr, cette position doit être partagée avec les disciplines scientifiques et techniques relevant des sciences hydrogéologiques et des sciences géomécaniques.

Prendre des décisions d'ingénierie appropriées

Enfin, dans une troisième étape, vient l'acte de décision.

Le «*Design with Nature*», c'est vraiment «concevoir en harmonie avec la Nature», la Nature devant être considérée comme un véritable partenaire. Pour mettre en œuvre ce précepte et prendre les décisions d'ingénierie appropriées, la Géologie de l'ingénieur doit s'appuyer particulièrement sur les modèles élaborés : modèles conceptuels, géomodèles, modèles numériques et sur les résultats des simulations numériques. Mais il faut aussi considérer absolument les événements passés et tirer parti des retours d'expérience. Il faut aussi rester conscient que les décisions prises, si argumentées soient-elles, resteront dépendantes du niveau de connaissance du moment, de l'époque.

Ces décisions doivent pouvoir être remises en cause en fonction d'informations nouvelles. Ainsi, le «*Design with Nature*», c'est aussi prévoir le comportement réaliste du massif de sol ou du massif rocheux et s'être préparé à de nouvelles mises en question. Cela signifie que, dans toutes nos investigations et expertises, un système de surveillance doit exister afin que les données de mesure permettent de contrôler le comportement réel du massif de sol ou du massif rocheux ainsi que des ouvrages d'ingénierie.

Ensuite, utilisant ces systèmes de surveillance, de nouvelles décisions d'ingénierie peuvent être prises, si nécessaire, prenant appui sur une méthode d'observation, parfois nommée méthode observationnelle, où les comportements du massif de sol, du massif rocheux et des ouvrages d'ingénierie sont continuellement vérifiés. Les décisions doivent être rapides, fonction de scénarios de comportement préalablement considérés, éventuellement simulés numériquement.



Géologie de l'ingénieur et formation : étudiants et enseignants en excursion géologique au Col du Galibier. Nappes de charriage (Savoie et Hautes-Alpes). Photo R. Cojean

Les domaines d'application de la Géologie de l'ingénieur

Au sens large, le domaine de la géologie de l'ingénieur est celui des interactions entre l'Homme et le sol ou sous-sol. Dans le périmètre d'action du CFGI, ce sol ou sous-sol est en effet, suivant les situations :

- un support des ouvrages (fondations) ;
- un encaissant, une enveloppe des ouvrages (souterrains, grandes fouilles) ;
- un matériau pour la construction (sols pour remblais, granulats pour béton, argile et calcaire pour ciment, gypse pour plâtre, pierre de taille, sable pour verrerie, etc.) ;

- une source d'actions imposées aux ouvrages et, éventuellement, de risques pour l'Homme et pour ses œuvres (mouvements de terrain, séismes, tassements post-miniers, pressions des eaux souterraines, phénomènes chimiques tels que l'alcali-réaction, amiante environnemental, etc.);
- un réceptacle pour stocker des produits ou de l'énergie et pour enfouir des déchets anthropiques (ménagers, industriels, radioactifs).

Si la géologie minière (matériaux métalliques, houille, hydrocarbures), dans sa composante de prospection, ne fait pas partie du domaine du CFGI, les techniques de l'industrie extractive et les questions posées par l'après-mine relèvent complètement de la géologie de l'ingénieur. De même, la recherche et l'exploitation de ressources en eau pour l'alimentation, l'agriculture ou l'industrie ne relèvent pas directement de notre champ d'activité. Mais tous ces domaines ont des frontières communes, et donc des interférences, avec la géologie de l'ingénieur, laquelle voisine au total avec de nombreuses disciplines.

La géologie de l'ingénieur fait appel à de nombreuses techniques et méthodes: observation du terrain, prélèvement et étude d'échantillons en laboratoire, télédétection, sondages, prospection géophysique, instrumentation de sites, cartographie, etc. Elle est ainsi une discipline de synthèse. Emblématique à ce sujet est la reconnaissance et l'étude des tracés d'infrastructures linéaires, qui doivent prendre en considération les terrassements, la réutilisation des matériaux de déblais, la recherche de granulats pour chaussée, les fondations des ouvrages d'art, la stabilité des talus de déblais et remblais, la stabilité naturelle des versants, etc. afin d'optimiser le tracé en plan et le profil en long.



Disciplines scientifiques et techniques en relation avec la Géologie de l'ingénieur et de l'environnement. Diagramme J-L Durville

En outre, la prise en compte des domaines d'application de la géologie de l'ingénieur et de l'environnement, sommairement énumérés ci-dessous, exige du (de la) géologue une bonne connaissance de ces applications, ouvrages, constructions et projets divers à la réalisation desquels il (elle) participe.

Ressources naturelles

- Recherche de gisements et estimation des réserves : enrochements, granulats, minéraux industriels, roches ornementales, etc. ;
- Caractérisation minéralogique, physique, mécanique ou chimique des matériaux de viabilité et de construction, en relation avec leur usage ;
- Exploitation de mines et carrières, à ciel ouvert ou en souterrain ;
- Réhabilitation des anciens sites de mines et carrières : remodelage du terrain, stabilité des talus à long terme, risques de pollution des nappes et des sols, etc. ;
- Valorisation des ressources en eaux souterraines.

Construction

- Cartographie géologique et géotechnique pour l'aménagement (SIG, modélisation 2D et 3D, etc.), typiquement à des échelles allant de 1/1000 à 1/10 000 ;
- Traitements des sols, fondations des bâtiments et ouvrages de génie civil ;
- Drainage et rabattement de nappes, étanchement, injections ;
- Conservation du patrimoine et des monuments historiques, notamment altération des pierres d'œuvre ou des bétons anciens.

Voies de communication

- Reconnaissance et étude des tracés d'infrastructures linéaires : routes et autoroutes, voies ferrées, canaux, etc. ;
- Tunnels routiers et ferroviaires : implantation des têtes, optimisation du tracé, aléas géologiques ou hydrogéologiques à redouter, etc. ;
- Ouvrages d'art, murs de soutènements ;
- Voies navigables, ports et écluses, structures off-shore : fondations, déroctage, etc.

Énergie

- Énergies renouvelables : implantation et fondation d'éoliennes à terre et en mer ;

- Géothermie à faible et moyenne profondeur ;
- Réseaux d'alimentation et de distribution, oléoducs ;
- Barrages (implantation, fondation, étanchéité, etc.) et galeries hydrauliques ;
- Stockages souterrains : hydrocarbures, chaleur, air comprimé, etc. ;
- Centrales thermiques et nucléaires : fondations, risques naturels.

Environnement et études de risques

- Études d'impact : effets des projets sur la stabilité des terrains, sur la qualité des sols et des eaux, etc. ;
- Cartographie des aléas et risques naturels, plans de prévention des risques ;
- Prévention et traitement des mouvements de terrain (glissements, éboulements, coulées boueuses, effondrements, etc.) : stabilité des versants et des cavités naturelles ou anthropiques ;
- Digue et aménagements de cours d'eau : matériaux constitutifs, fondation, risques d'érosion, etc. ;
- Recul des côtes à falaise, défense des côtes ;
- Vibrations (abattage à l'explosif, brise-roche, etc.) et séismes (effets de site, liquéfaction, mouvements de terrain induits, etc.) ;
- Stockages des déchets en surface et en souterrain ;
- Diagnostics de sites et sols pollués, dépollution des sols et des nappes d'eau souterraines.

2. LA GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR. CRÉATION DE L'AIGI ET DU CFGI

La naissance de l'Association internationale AIGI

A l'occasion du XXII^e Congrès géologique international (IGC) à New Delhi le 12 décembre 1964, Asher Shadmon, (Israël), prend l'initiative de provoquer la toute première réunion de travail sur le thème des « matériaux de carrières et autres produits utilisés en ingénierie ».

En effet, malgré les tonnages considérables et la grande valeur de ces matériaux, ce sujet était, jusqu'à cette date, absent des discussions aux congrès géologiques. Il propose aussi que l'Union internationale des sciences géologiques (UISG - IUGS) crée et finance une commission internationale dédiée à cette thématique. Suivant cette première réunion, un groupe restreint comportant des représentants d'Israël, de l'Inde, de la Turquie et des USA suggère que cette commission devrait aussi s'intéresser à la relation entre ces matériaux dans leur environnement d'origine et les travaux

d'ingénierie correspondants. Par conséquent, le 16 décembre, une « commission sur la géologie de l'ingénieur » est proposée, avec deux sous-commissions : l'une relative aux matériaux rocheux, l'autre relative aux rapports entre roches en place et travaux d'ingénierie.

Un jour plus tard, la motion suivante est adoptée à l'unanimité :

« Il est recommandé qu'une Commission distincte sur la « géologie de l'ingénieur » soit constituée dans le cadre des Congrès géologiques internationaux (IGC) ou de l'Union internationale des sciences géologiques (IUGS). [...] L'objectif de cette commission et de ses sous-commissions serait de promouvoir la connaissance et la dissémination d'informations sur la géologie de l'ingénieur, de collecter des études de cas, de préparer des synthèses bibliographiques et des inventaires de référence, de fournir des informations sur les travaux de recherches récentes ou en cours, de collecter des données statistiques géologiques sur les industries extractives et d'identifier une liste d'autres recherches nécessaires. Les travaux devraient être regroupés par référence aux zones climatiques : (1) zone tropicale, (2) zone tempérée, (3) zone aride et (4) zone périglaciaire. »

Le 19 décembre, le comité exécutif de l'IUGS est réservé sur cette proposition. Le problème ne concernait pas l'intérêt pour la géologie de l'ingénieur mais bien les ressources limitées de l'IUGS qui ne permettraient pas de financer une nouvelle commission permanente. Il est alors décidé de créer un comité restreint en charge de produire et de présenter un rapport sur l'état de la situation en lien avec les sociétés internationales de mécanique des sols et de mécanique des roches, ainsi qu'avec les différentes sociétés nationales de géologie de l'ingénieur existantes.

Le 21 décembre, les membres présents décident de tenir immédiatement une nouvelle session de travail, durant laquelle il est décidé unanimement de créer l'AIGI : Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur (IAEG : *International Association for Engineering Geology*). Il s'agit donc de l'assemblée fondatrice de l'Association. Plusieurs pays étaient représentés : l'Afrique du Sud, la Belgique, l'Espagne, la France (avec M. Arnould et J. Lakshmanan), l'Inde, Israël, l'Italie, la Norvège, la Turquie, les USA. Un comité provisoire est aussi créé pour conduire les activités initiales, composé de A. Shadmon (Israël) comme président, M. Arnould (France) comme secrétaire général et les membres suivant : E. Beneo (Italie); VS Krishnaswamy, RS Mithal et MS Balasundaram (Inde); et K. Erguvanli (Turquie). Des représentants d'autres pays seront ensuite cooptés.

On notera que le nom de l'Association, en anglais, est : *Association for ...*, avec l'objectif de regrouper des professionnels du secteur tout en faisant la promotion de la discipline. La traduction, en français : *Association de ...* pourrait être jugée restrictive. Par ailleurs, le nom de la discipline scientifique et technique, en anglais, est : *Engineering geology*. La traduction, en français : *Géologie de l'ingénieur* pourrait porter à confusion quant aux professionnels concernés par la discipline. Il faut bien comprendre que le substantif *geology*, ou *géologie*, est précisé par le qualificatif *engineering* ou *de l'ingénieur*.

Les deux premières années

Les deux premières années de l'association ont été consacrées à l'amélioration du comité provisoire pour garantir qu'il disposait d'une véritable représentation internationale. Vers la fin de 1966, il comprenait, en plus des membres fondateurs, AM Hull (USA), président de l'association américaine des ingénieurs géologues; EM Sergeev et NV Kolomenskii (Union Soviétique); Q. Záruba (Tchécoslovaquie); MD Ruiz (Brésil); et G. Champetier de Ribes (France) qui était alors co-opté dans la fonction de trésorier. Des discussions étaient toujours en cours avec l'Australie, le Japon et le Mexique. Les deux premières années ont aussi été consacrées à établir des statuts et à préparer un programme de travail.

La vocation et les missions de l'AIGI furent définies dans les statuts en ces termes :

«Article 1 : le champ de la géologie de l'ingénieur couvre les applications des sciences de la Terre à l'ingénierie, l'aménagement et la planification, la construction, la prospection, la caractérisation et le traitement des matériaux ;

Article 2 : la vocation de l'AIGI est d'encourager la recherche, la formation et la dissémination des connaissances en développant la coopération internationale relative aux domaines de l'ingénierie».

Une demande d'affiliation de l'AIGI a été présentée en 1967 lors d'une réunion du comité exécutif de l'IUGS et fut acceptée. Cette décision a ensuite été ratifiée à l'unanimité lors de l'assemblée générale de l'IUGS, le 23 Août 1968, à Prague.

La première assemblée générale

Lors de la période qui suivit, les contributions des collègues de l'Association tchécoslovaque furent notables, en particulier celles de Q. Záruba et de J. Pasek. Ils étaient tous deux en charge de l'organisation de la section géologie de l'ingénieur du XXIII^e Congrès géologique international de Prague en 1968, auquel ils présentèrent les orientations de l'AIGI.

Ils organisèrent aussi le premier symposium scientifique de l'AIGI à Brno (Tchécoslovaquie), du 26 au 28 avril 1968, puis un second sur «la géologie de l'ingénieur et l'aménagement du territoire» à l'occasion du congrès géologique international. La première assemblée générale de l'Association s'est tenue le 23 août 1968 à Prague durant le congrès mentionné ci-dessus. Au moment du congrès, le pays était durement touché par les mouvements des troupes soviétiques : l'assemblée générale s'est néanmoins déroulée, les statuts ont été adoptés et un comité exécutif fut élu pour une durée de quatre ans, en remplacement du comité provisoire.

Le nouveau comité était composé ainsi : président : Q. Záruba (Tchécoslovaquie); secrétaire général : M. Arnould (France); trésorier : G. Champetier de Ribes (France); ancien président : A. Shadmon (Israël); vice-président pour l'Europe : L. Calembert

(Belgique); vice-président pour l'Amérique du Nord : L. Cluff (USA); vice-président pour l'Amérique du Sud : MD Ruiz (Brésil); vice-président pour l'Australie : L. Oborn (Nouvelle Zélande); vice-président pour l'Asie : H. Tanaka (Japon); vice-président pour l'Afrique : un représentant du Ghana; et plusieurs membres : NV Kolomenskij (Union Soviétique); A. Nemoek (Tchécoslovaquie); J. Janjic (Yougoslavie); R. Glossop (Royaume Uni); A. Drucker (République Fédérale d'Allemagne); et JM Crepeau (Canada). En plus du comité exécutif, trois groupes de travail étaient institués : i. Glissements de terrain, sous la responsabilité de J. Pasek (Tchécoslovaquie); ii. Roches solubles, sous la responsabilité de F. Reuter (République Démocratique d'Allemagne) et K. Erguvanli (Turquie); iii. Cartographie géotechnique sous la responsabilité de M. Matula (Tchécoslovaquie).

Finalement, il fut décidé d'organiser des congrès internationaux spécifiquement pour l'AIGI, tous les quatre ans, et de les tenir en alternance avec le congrès géologique international (IGC). Les premiers congrès avec assemblée générale ont donc été les suivants : New Dehli (Inde) lors du XXII^e IGC en 1964; Prague (Tchécoslovaquie) lors du XXIII^e IGC en 1968; Paris (France) : 1^{er} Congrès international de l'AIGI en 1970.

Le Bulletin de l'AIGI

La première édition du Bulletin a été distribuée lors du premier congrès de l'AIGI en septembre 1970 à Paris. Sa préparation fut rendue possible grâce à l'implication personnelle de Q. Záruba, le président en fonction de l'AIGI, J. Pasek, M. Arnould et de plusieurs personnes de l'équipe de l'École des Mines de Paris. Initiée comme une simple publication artisanale, le Bulletin est devenu une référence scientifique parmi les journaux à comité de lecture les plus respectés dans les domaines de la géologie de l'ingénieur, de l'environnement et des géosciences, et bien connu sous le nom de « Journal officiel de l'AIGI ». Il est désormais publié par Springer et édité par l'Association sous le titre de Bulletin de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement (*Bulletin of Engineering Geology and the Environment* : BEGE).

La création du CFGI

Le CFGI : Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement, groupe français de l'AIGI, a été fondé le 12 juin 1968 par Marcel Arnould. Suivant le droit français, c'est une association régie par la loi du 1^{er} juillet 1901. Le CFGI a été déclaré d'utilité publique par décret du 2 mai 1977.

Selon l'Article 1 des statuts, son but est de :

« promouvoir les études intéressant directement ou indirectement la géologie de l'ingénieur et de l'environnement et d'en diffuser les résultats ».

Selon l'Article 2 des statuts, l'action de l'association

« s'exerce en vue de la promotion de la recherche théorique et technique, notamment par l'organisation de conférences et de congrès, par la participation de ses membres à des manifestations de même nature organisées par d'autres groupements et par la diffusion de publications se rapportant à son objet ».

L'organisation, l'historique et les actions du CFGI sont présentés dans le deuxième chapitre de cette première partie de l'ouvrage.



Géologie de l'ingénieur et ouvrages : le tunnel de l'Encombrouze traversant un versant instable au cœur de la fenêtre géologique de l'Argentière (Hautes-Alpes). Photo R. Cojean

Conclusion

Cette présentation des origines de l'AIGI et du CFGI peut être conclue par le rappel d'une idée chère à tous les fondateurs de l'AIGI et reprise plus tard par R. Wolters. Celui-ci suggéra l'idée suivante :

« l'AIGI est plus qu'une association : c'est un état d'esprit, une attitude, une volonté d'avoir un esprit ouvert à la coopération internationale ; c'est un esprit collectif qui cherche à développer des relations humaines fortes autant que des échanges scientifiques ».

Le CFGI adhère totalement à cette proposition.

Le texte précédent (hors création du CFGI) a été tiré du livre du Jubilé de l'AIGI – IAEG (The International Association for Engineering Geology and the Environment. 50 years : 1964-2014). Il a été traduit et adapté par Sébastien Dupray, ancien secrétaire général de l'AIGI.

3. REGARDS VERS LE FUTUR

Introduction

Ces « Regards vers le futur » prennent appui sur le texte présenté par Carlos Delgado, ancien président de l'AIGI (2010-2014), dans l'ouvrage commémorant les 50 ans (1964-2014) de l'Association internationale. Le CFGI adhère à ce texte et en a repris plusieurs éléments, avec l'accord de l'auteur, pour une nouvelle présentation adaptée au contexte français.

L'expérience acquise, les évolutions récentes

Comment parler du futur sans un premier regard vers nos Anciens et leurs actions qui furent pleines d'enthousiasme et de conviction ? Le CFGI, groupe français de l'AIGI, se tourne volontiers vers la référence internationale que représente l'AIGI.

La Géologie et la Géologie de l'ingénieur

En 1986, EM Sergeev, l'un des premiers présidents (1978-1982) de l'AIGI, écrivait :

« La Géologie de l'Ingénieur a maintenant une grande importance pour les personnes, mais son rôle augmentera de plus en plus à l'avenir, alors que nous – engineering geologists – géologues de l'ingénieur – nous prenons sur nos épaules de grandes responsabilités, avec les problèmes de la protection de l'environnement et de son usage rationnel ».

Cette réflexion reste aussi vraie aujourd'hui qu'il y a plus de 30 ans. Wang Sijing, ancien président (1998-2002) de l'Association, a pu le rappeler en précisant aussi des objectifs essentiels pour l'AIGI :

« développer la géologie de l'ingénieur auprès des pays émergents, faire progresser les connaissances scientifiques et techniques, améliorer la coopération internationale ».

Regardons plus en arrière quand, au début du XIX^e siècle, le rôle de la géologie dans les travaux d'ingénierie commençait à s'affirmer, accompagnant le développement du génie civil et du génie minier. Les premières coopérations étaient le fait de géologues qui n'étaient pas encore des « géologues de l'ingénieur ». Cependant, avec le temps, les projets d'aménagement devenant de plus en plus ambitieux et leurs interactions avec le terrain géologique de plus en plus fortes, une coopération plus formalisée entre géologues et ingénieurs devint essentielle pour des questions de sécurité, de rapport coût-efficacité et de fiabilité des ouvrages à long terme. Parallèlement, la géologie évoluait, s'éloignant d'une discipline scientifique purement descriptive, pour investir les nouveaux champs du quantitatif. C'est au cours du début du XX^e siècle que la géologie appliquée aux travaux d'ingénierie commença à s'établir comme nouvelle

discipline scientifique et technique, pour s'identifier au milieu du XXe siècle comme «*Engineering geology* – Géologie de l'ingénieur».

En 1964, comme on l'a vu, l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur (AIGI) / *International Association for Engineering Geology* (IAEG) fut créée, avant de devenir, en 1997, Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement / *International Association for Engineering Geology and the Environment*. Elle a célébré ses 50 ans d'existence en 2014.

L'évolution des attentes sociétales et les défis qu'il faut toujours relever

Depuis 1964, la société a beaucoup évolué : accroissement de la population mondiale, développement des mégapoles, exposition accrue de populations aux risques naturels, demande croissante en infrastructures de transport, développement du transport maritime et aérien avec la nécessité de réaliser des équipements portuaires et aéroportuaires adaptés, développement parfois mal contrôlé des industries extractives, consommation accrue d'énergies fossiles alors que la demande constitue déjà une menace pour notre environnement, consommation croissante de la ressource en eau alors que la pénurie d'eau pour certaines régions du monde est déjà une réalité. Dans le même temps le développement des énergies renouvelable a progressé. La conscience de la nécessité de mieux protéger notre environnement est devenu un défi mondial, avec peut-être d'autres modes de développement à concevoir.

La Géologie de l'ingénieur s'est rénovée pour prendre en compte ces évolutions et les préoccupations associées, spécialement dans le domaine environnemental. Par exemple, la prévention et le contrôle des risques naturels sont devenus des objectifs majeurs pour les géologues de l'ingénieur et contribuent fortement à légitimer le développement de la géologie de l'ingénieur comme discipline scientifique et technique.

Une attente sociétale toujours croissante s'exprime pour une conservation renforcée de notre environnement, ainsi que pour des décisions politiques mieux éclairées grâce à une meilleure intégration des sciences de l'ingénierie, des sciences économiques et des sciences sociales.

La Géologie de l'ingénieur aujourd'hui

Il y a encore beaucoup de chemin à parcourir pour que la Géologie de l'ingénieur soit reconnue à sa juste valeur par les acteurs de l'acte d'entreprendre. Ceux-ci ne reconnaissent pas toujours le bénéfice qu'ils pourraient en retirer en termes d'une intégration optimisée d'un ouvrage dans un environnement complexe ou en termes d'une meilleure efficacité sur les plans techniques et économiques.

La Géologie de l'ingénieur est souvent une discipline de l'amont dans un projet donné, avec pour conséquence la minimisation, parfois, de son importance aux yeux

d'industriels ou de décideurs institutionnels plus directement en relation avec des disciplines en situation de première ligne, pour des choix techniques de mise en œuvre de procédés de construction par exemple.

Néanmoins, la Géologie de l'ingénieur est devenue une discipline scientifique et technique reconnue mondialement, respectée par les disciplines connexes et sociétés sœurs et ayant gagné une considération académique spécifique. Le CFGI, dès l'origine de la création de l'AIGI, a apporté à l'Association une contribution constante, certains de ses membres assurant des tâches majeures (présidence, secrétariat général, trésorerie). Le CFGI a aussi largement contribué au développement du Bulletin de l'Association (BEGE : *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*), recherché par nombre d'universitaires, de chercheurs et de praticiens, son facteur d'impact le plaçant aujourd'hui parmi les meilleures revues scientifiques et techniques du domaine.

Des défis impérieux à relever

Les défis environnementaux, les risques naturels, le changement climatique

A l'avenir, la Géologie de l'ingénieur continuera d'embrasser tous les thèmes environnementaux. Le CFGI ne fut-il pas, en France, un précurseur dans le domaine environnemental, pour ce qui concerne notre domaine technique, en organisant en 1993, associé au BRGM, le premier congrès international Geoconfin93, sur le thème : «Géologie et confinement des déchets toxiques / *Geology and confinement of toxic wastes*»? Les préoccupations environnementales ne cesseront de croître dans le futur, face à la nécessité de protéger notre Terre des actions humaines parfois si invasives, de contrôler et maîtriser leurs effets négatifs, de rationaliser l'exploitation des ressources naturelles minérales qui appartiennent aussi aux générations futures. Les impacts environnementaux de divers aménagements et constructions, toujours plus ambitieux, constitueront de nouveaux défis à relever pour la géologie de l'ingénieur, avec des exigences croissantes.

La Géologie de l'ingénieur continuera aussi de se préoccuper des risques naturels de toutes sortes, liés aux séismes, au volcanisme, aux mouvements de terrain : glissements et affaissements, au retrait-gonflement des sols argileux, aux inondations dans le contexte d'une urbanisation croissante qui s'empare de zones jusque là épargnées car soumises à divers aléas et qu'il faudrait mieux préserver pour nombre d'entre elles. Dans ce domaine, une expertise spécialisée en géologie de l'ingénieur, capable de maîtriser l'ensemble des composantes des sciences de la Terre, sera de plus en plus souvent requise.

La Géologie de l'ingénieur devra aussi appréhender les conséquences du changement climatique, avec le relèvement du niveau marin et les problématiques d'érosion côtière et de submersions marines, avec en zones de montagne le recul glaciaire et le dégel du permafrost et les impacts sur les aménagements touristiques d'altitude, avec des événements extrêmes à caractère géologique ou non : sécheresse, inondations, etc.

aux intensités amplifiées et périodes de retour plus courtes, avec des conséquences désastreuses pour nos aménagements. Les techniques de prévision et de limitation des effets de ces phénomènes d'origine climatique devront continuer de se développer dans le futur et la géologie de l'ingénieur devra être au premier rang pour contribuer à ces tâches.



Géologie de l'ingénieur et risques naturels : Le Bourg-d'Oisans (Isère) au pied de la falaise liasique du Prégentil. Torrent du Saint-Antoine et laves torrentielles. Photo R. Cojean

Les projets d'aménagement et de construction, les ressources naturelles

Les temps futurs devraient nous faire connaître des projets d'aménagement et de construction de plus en plus complexes sur le plan technique : tunnels à très grande profondeur, urbanisme souterrain densifié, infrastructures de transport nouvelles, aménagements hydrauliques complexes, ouvrages en mer à caractère industriel ou liés à l'aménagement de territoires, installations de stockages souterrains de différents produits, d'eau, d'énergie, de déchets, etc. De nouvelles méthodes constructives devraient voir le jour et la géologie de l'ingénieur devra s'y intéresser et rechercher à limiter les impacts de ces méthodes sur notre environnement.

Il restera toujours nécessaire d'acquérir des connaissances géologiques, géotechniques et hydrogéologiques, par méthodes directes ou indirectes, qui constitueront la base incontournable de nos modèles conceptuels géologiques et de nos géomodèles, alimentant ensuite la modélisation numérique. La géologie de l'ingénieur devra continuer de développer son expertise dans ces approches conceptuelles et numériques, à la base de la conception et la réalisation de multiples ouvrages géotechniques. Elle devra aussi toujours revenir à la réalité géologique en prenant appui sur les retours d'expérience et en mettant en œuvre, dans les projets d'aménagement et de construction, de véritables méthodes d'observation contrôlant en temps réel la réponse du terrain géologique aux sollicitations mécaniques, hydrauliques, techniques. L'expertise géologique, la connaissance approfondie des matériaux géologiques et des structures géologiques devront toujours être disponibles dans notre profession.

Dans la perspective d'un monde où l'exploitation des ressources minérales diminuera pour cause d'épuisement de celles-ci ou d'impacts devenus inacceptables sur le plan sociétal, des matériaux de substitution seront de plus en plus utilisés pour la construction: matériaux géo-synthétiques, coproduits de l'industrie minérale, matériaux issus du recyclage. La caractérisation de ces matériaux minéraux et leur traitement par différents ajouts restera un domaine d'application majeur pour la Géologie de l'ingénieur, suivant une tradition bien ancrée dans la discipline.

La transdisciplinarité, la coopération internationale, la formation

Considérant ces divers défis auxquels la géologie de l'ingénieur devra faire face, alors, à l'évidence, une coopération accrue sera nécessaire entre notre discipline scientifique et technique et les disciplines multiples s'intéressant à la construction et l'aménagement du territoire: mécanique des sols, mécanique des roches, hydrogéologie, génie civil, génie minier, génie hydraulique, sciences de l'aménagement, planification écologique. Il sera nécessaire, dans le futur et grâce à de telles coopérations, d'accéder à une transdisciplinarité permettant d'établir des modèles de développement et des projets de construction qui soient plus éco-responsables, avec un meilleur contrôle des demandes énergétiques et un usage plus raisonné des ressources hydrauliques, minérales, etc.

De plus, si l'on veut améliorer nos activités scientifiques et techniques dans le domaine de la Géologie de l'ingénieur, il sera nécessaire, dans le futur, d'accroître la coopération internationale, associant géologues de l'ingénieur, géo-scientifiques, géotechniciens et spécialistes de la construction et de l'aménagement. Cette coopération accrue devrait s'exprimer au travers de congrès nationaux et internationaux adaptés, ouverts à cette transdisciplinarité. Des publications scientifiques et techniques communes devront concrétiser ces nouvelles démarches.

Avec cette perspective, le CFGI devra apporter sa contribution dans la formation de professionnels par l'intermédiaire de ses activités propres (séances techniques, visites de chantier, journées régionales, symposiums et congrès). Le CFGI devra aussi contribuer à mieux promouvoir l'enseignement de la Géologie de l'ingénieur et des

disciplines associées auprès des jeunes étudiants à l'université ou dans les écoles d'ingénieur et au sein de la formation professionnelle.

Prévoir ce que sera le futur dans les années à venir est un défi majeur dans un monde où s'annoncent des changements rapides dans les domaines technologiques, sociétaux, climatiques. Néanmoins, nous croyons que si le CFGI et plus largement l'AIGI mettent en œuvre les éléments de programme présentés, alors la géologie de l'ingénieur continuera de jouer un rôle primordial au sein des géosciences et des sciences de l'ingénierie, pour un meilleur futur des hommes au sein de la cité et sur notre Terre. Nous croyons que les plus jeunes d'entre nous, qui adhèrent à ces idées ou y adhéreront dans les années futures, sauront reconnaître le chemin parcouru par la Géologie de l'ingénieur depuis sa création, pour le bien commun, et auront à cœur de poursuivre cette œuvre.

Retour sur 50 ans d'activités CFGI

INTRODUCTION

Ce deuxième chapitre de la première partie de l'ouvrage « Géologie de l'ingénieur : actualité et perspectives – Les 50 ans du CFGI » a pour ambition de retracer 50 ans d'activités du CFGI. Il s'agit avant tout d'une aventure humaine et scientifique qui a jalonné l'existence de beaucoup d'entre nous au travers de tâches diverses, toutes essentielles à la vie de l'association et aux échanges avec une large communauté de professionnels, de chercheurs et d'étudiants adhérant aux principes de la Géologie de l'ingénieur développés dans le chapitre précédent.

Ainsi sont rappelés : l'historique des Bureaux du CFGI (Présidents, Vice-Présidents, Secrétaires généraux, Trésoriers), les liens étroits entre CFGI et AIGI, les séances techniques, visites et journées régionales organisées par l'association, les manifestations nationales co-organisées avec les sociétés sœurs, les prix Jean Goguel, l'activité éditoriale du CFGI, les manifestations internationales organisées par le CFGI, la rédaction de documents techniques.

A travers le nom des personnes citées dans cette partie de l'ouvrage, c'est un ensemble d'institutions qu'il faut remercier – elles ne peuvent pas toutes être nommées – pour leur soutien apporté au CFGI sur le plan éthique et financier.

Que des lecteurs attentifs nous pardonnent des oublis ou inexactitudes qu'ils repèreraient. Mais nous avons veillé à être le plus fidèle possible à un héritage transmis par les Anciens. Il faut maintenant continuer de le faire vivre.

1. HISTORIQUE DES BUREAUX DU CFGI

Le Comité Français de Géologie de l'Ingénieur a été initié le 2 Avril 1968. Les statuts de l'association ont été déposés le 12 juin 1968 et sont parus au Journal Officiel de la République Française le 23 juin 1968. L'association est régie par la loi du 1^{er} Juillet 1901. Elle est déclarée d'utilité publique par décret du 2 mai 1977.

Rappelons l'extrait d'un courrier signé du 30 Avril 1968 par Jean Goguel, l'un de ses membres fondateur :

« Au cours de ces dernières années, et parallèlement à l'effort important d'aménagement et d'équipement du territoire, ainsi qu'au développement des infrastructures, la Géologie de l'Ingénieur a considérablement progressé en France, tant dans le domaine de ses applications que dans celui de ses méthodes, à un point tel qu'elle apparaît de plus en plus indispensable à tous les responsables de projets.

Le moment semble donc opportun de regrouper les spécialistes français de l'Engineering Geology en fondant, à côté du Comité Français de Mécanique des Roches (qui vient de se constituer), un Comité Français de Géologie de l'Ingénieur. C'est dans ce but que ce sont réunis, à l'École des Mines de Paris, quelques géologues spécialistes sous la présidence de Monsieur Goguel, le 2 Avril 1968 ».

Les membres fondateurs furent Jean Goguel, Marcel Arnould, Claude Bordet, Gérard Champetier de Ribes, Jacques Gazel, Jacques Lakshmanan, Claude Sivignon.

Un Conseil et un Bureau provisoires ont été constitués dès la création de l'association et les membres du Conseil ont été confirmés au cours de l'AG du 4 juillet 1968.

Lors de la première assemblée générale du 4 Juillet 1968 du Comité Français de Géologie de l'Ingénieur, selon le compte-rendu,

« Marcel Arnould présente un historique de la Géologie Appliquée en France en attirant l'attention sur le rôle joué par Auguste Comte qui a classé la géologie parmi les sciences de la nature alors que notre domaine se rapporte plutôt aux sciences de la matière. Selon lui, c'est historiquement surtout dans les Écoles des Mines que l'osmose s'est faite entre la géologie et les arts de l'ingénieur. Jusqu'à la dernière guerre mondiale, la Géologie de l'ingénieur s'est exprimée avant tout dans des expertises réalisées par des spécialistes au moment des études de grands travaux (barrages, tunnels, etc.).

Depuis, son rôle est devenu plus systématique. L'évolution a commencé avec la création du Service Géologique d'EDF pour les barrages. Le relais a ensuite été pris par le domaine routier et notamment aux Ponts et Chaussées. La construction et l'urbanisme sont sur le point de provoquer une nouvelle demande de spécialistes de Géologie de l'ingénieur, qu'il s'agisse de l'implantation de villes nouvelles ou de la modernisation de villes anciennes, par exemple Paris, où l'on s'oriente vers un urbanisme souterrain. »

Ce compte-rendu fait ensuite état de la répartition des géologues dans l'industrie française :

« Il y a actuellement en France à peu près 300 géologues appliqués dans notre domaine. Ils se répartiraient de la façon suivante :

- Maîtres d'œuvres et organismes de recherche autres que ceux liés à l'enseignement : 135 ;
- Bureaux d'études et sociétés de prospection ou de traitement des sols : 90 ;
- Entreprises de travaux publics ou producteurs de matériaux : 25 ;
- Enseignement et recherche liée à l'enseignement : 30 ;
- Divers : 20.

Le nombre estimé de techniciens géologues est de l'ordre de 150 à 200. »

Au 1er mai 1971, le nombre d'adhérents est de 156, soit 50 de plus depuis 1969, près de 400 à son maximum avec ensuite des fluctuations annuelles.

Une modification des statuts est intervenue lors de l'assemblée générale extraordinaire du 7 juin 1973 proposant la modification des articles 3 et 8 relatifs à la création des membres collectifs.

L'assemblée générale ordinaire du 12 juin 1975 indique que le conseil d'administration élu en 1968 a été renouvelé pour moitié de ses membres à l'assemblée générale ordinaire du 7 juin 1972, pour le troisième quart à l'assemblée générale ordinaire du 7 juin 1973 et le dernier quart à celle du 13 juin 1974. Le renouvellement par quart se fera jusqu'en 1998, date du changement des statuts de l'Association.

Bureaux de 1968 à 1998

Présidents (P), Vice-Présidents (VP), Secrétaires généraux (SG), Trésoriers (T) :

- Assemblée Générale de création du 2 avril 1968 : création d'un Conseil composé de J. Goguel (P), R. Barbier (VP), M. Arnould (VP), J. Gazel (SG), G. Champetier de Ribes (T)
- Assemblée Générale de 1970 : J. Goguel (P), J. Gazel (SG), G. Champetier de Ribes (T)
- Assemblée Générale de 1972 : M. Arnould (P), R. Barbier (VP), M. Haffen (VP), J. Gazel (SG), G. Champetier de Ribes (T)
- Assemblée Générale du 7 juin 1973 : M. Arnould (P), C. Bordet (VP), G. Champetier de Ribes (T)
- De 1973 à 1976 : M. Haffen (P); C. Sivignon (VP), G. Champetier de Ribes (VP), J. Gazel (SG), M. Rat (T)
- De 1977 à 1979 : M. Haffen (P), G. Champetier de Ribes (VP), C. Sivignon (VP), J. Gazel (SG), M. Rat (T)
- De 1980 à 1982 : C. Bordet (P), M. Rat (VP), G. Souliez (VP), L. Primel (SG), A. Peter (T)
- De 1983 à 1986 : M. Rat (P), F. Ottman (VP), R. Struillou (VP), L. Primel (SG), A. Peter (T)
- De 1987 à 1990 : R. Struillou (P), D. Pfefer (VP), L. Primel (VP), B. Caron (SG), A. Peter, puis A. Millies Lacroix (T)
- De 1991 à 1994 : D. Pfefer (P), L. Primel (VP), J-P Tisot (VP), B. Caron (SG), puis J-L Durville (SG), D. Deprez (T)
- De 1995 à 1998 : J-P Tisot (P), L. Primel (VP), J-L Giafferi (VP), J-L Durville (SG), D. Deprez (T)

Lors de la réunion du 10 avril 1996, un groupe de travail, constitué de M. Arnould, L. Bourguet, R. Cojean, J-L Durville et J-P Tisot rédige un règlement pour créer et

décerner le prix Jean Goguel. Ce prix sera décerné tous les deux ans, à partir de 1997, avec pour objectif de faire connaître et de récompenser les travaux de recherche appliquée effectués par de jeunes professionnels œuvrant dans le domaine de la géologie de l'ingénieur. Le prix Jean Goguel fait l'objet d'une présentation spécifique dans cette partie de l'ouvrage.

Modification des statuts en 1998 :

En 1998, un règlement intérieur est adopté par l'assemblée générale extraordinaire du 26 mars 1998. Cette assemblée désigne D. Deprez et J-L Durville pour effectuer les démarches nécessaires auprès des autorités de tutelle en vue de l'approbation des statuts. Elle précise que l'Association est administrée par un Conseil d'Administration composé de 13 membres : 12 membres élus au scrutin secret et à la majorité relative pour 4 ans, choisis parmi les membres individuels à jour de leurs cotisations, auxquels s'ajoute le Président sortant, qui demeure membre de droit du Conseil pendant une période équivalente à la durée de son mandat de président.

L'article 4.1 précise la création du prix Jean Goguel.

Suite à l'adoption du règlement intérieur du 26 mars 1998, les membres du Conseil d'Administration sont désormais élus pour quatre ans par l'Assemblée Générale. Par ailleurs, à partir de cette date, le CFGI devient Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement.

Bureaux de 1999 à 2018

Présidents (P), Vice-Présidents (VP), Secrétaires généraux (SG), Trésoriers (T) :

- De 1999 à 2003 : J-L Giafferi (P), R. Cojean (VP), J-L Durville (VP), L. Bourguet (SG), D. Deprez (T), puis SG en 2000 en remplacement de L. Bourguet
- De 2003 à 2007 : J-L Durville (P), R. Cojean (VP), J-L Dessenne (VP), A. Quenez (SG) et D. De Meyer (SG), D. Deprez (T)
- De 2007 à 2011 : R. Cojean (P), Y. Paquette (VP), A. Quenez (VP), D. De Meyer (SG), D. Deprez (T) et A. Hirschauer (T)
- De 2011 à 2015 : J-L Durville (P), Y. Paquette (VP), A. Quenez (VP), S. Guédon (SG), A. Hirschauer (T)
- De 2015 à 2019 : A. Quenez (P), J-A Fleurisson (VP), G. Deveze (VP), S. Guédon (SG), V. Merrien Soukatchoff (T).

Modification de l'article 5 des statuts en 2015

Une assemblée générale extraordinaire a été organisée le 8 octobre 2015 afin de modifier l'article 5 comme suit : la phrase « L'Association est administrée par un

L'ouvrage *Géologie de l'ingénieur : actualité et perspectives* a été conçu et réalisé pour la Journée scientifique du 22 novembre 2018 fêtant les 50 ans d'existence du CFGI : Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement. Cet ouvrage est le fruit d'un travail collectif voulu par le Conseil du CFGI.

Une première partie réunit des textes variés : concepts de base de la Géologie de l'ingénieur, historique de la création de notre Association au sein de l'AIGI (Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement), regards vers le futur. Nos diverses activités : organisation de séances techniques nationales et de manifestations internationales, rédaction de documents techniques, organisation du prix Jean Goguel, etc. sont présentées.

Une deuxième partie rassemble des textes de Géologie de l'ingénieur illustrant notre discipline scientifique et technique : textes des conférenciers du 22 novembre, textes écrits par des membres de l'Association, spécialement pour cet ouvrage, ou récemment publiés dans des revues avec lesquelles nous avons établi une collaboration institutionnelle, textes écrits par des auteurs proches de notre discipline. Les nombreuses facettes de la Géologie de l'ingénieur et de l'environnement, discipline étroitement liée aux sciences de la Terre, mais aussi aux sciences géomécaniques et hydrogéologiques, sont ainsi illustrées dans cet ouvrage.

