

# Pourquoi pas un baccalauréat en génie géotechnique?

Jean Lafleur et Pierre Montès,  
Département des génies civil, géologique et des Mines  
École Polytechnique de Montréal, Montréal, QC, Canada



Challenges from North to South  
Des défis du Nord au Sud

## RÉSUMÉ

La géotechnique devient une discipline de plus en plus étendue avec des outils de conception qui se multiplient tant au niveau des logiciels de calcul disponibles que des techniques de mesures en laboratoire et sur le terrain. Du côté amont, le financement de la formation universitaire s'avère de plus en plus restreint et les pressions pour former un ingénieur dans les plus brefs délais sont de plus en plus grandes. D'autre part dans l'état actuel, il faut consacrer au minimum plus d'une année à des études supérieures pour pratiquer la géotechnique. N'est-il pas temps de changer la situation? Il serait possible de conserver au départ de ce nouveau programme les notions scientifiques et professionnelles de base indispensables tout en insistant davantage sur l'impact de la géologie dans la conception des ouvrages et la conduite des travaux de génie. À cause de ce manque de connaissances, les ingénieurs débutant dans la pratique sont souvent mal outillés pour formuler des hypothèses réalistes de calcul de fondations alors que c'est là le propre de l'ingénieur géotechnicien qui souvent ne bénéficie pas de toute l'information nécessaire pour prendre les décisions appropriées.

## ABSTRACT

The practice of geotechnical engineering becomes more and more complex with available design tools such as computer programs as well as investigation techniques either in the field or in the lab. On one side, financing universities is more and more restricted and pressures to form engineers in the shortest delays are increased. On the other side, a minimum of one year of graduate studies is mandatory for a geotechnician in the present state. This situation could be changed according to our proposition. The basic principles of engineering and professional practice would still be taught in the beginning years, emphasizing the great impact of geology on the design and conduct of the works. Because of this lack of knowledge however, the actual fresh civil engineers are reluctant in assessing relevant hypotheses for the design of foundations given that it is the basis of geotechnical engineering even if all the necessary data are not available to take the proper decisions.

## 1 SITUATION ACTUELLE DE L'ENSEIGNEMENT

Les programmes de génie civil sont un amalgame de connaissances dans trois disciplines de base : structures, hydraulique et géotechnique auxquelles sont venues s'ajouter environnement et transports. Il en résulte un délicat partage du temps consacré entre ces domaines qui se réfèrent à une grande étendue de principes physiques. La résistance des matériaux et la mécanique des fluides en demeurent toutefois l'épine dorsale. L'étudiant doit faire un choix suivant ses affinités, les stages techniques de même que les projets intégrateurs jouent une part importante dans ce choix.

La géotechnique est une discipline où la géologie joue un rôle prédominant, notamment sur le comportement des volumes importants sollicités par les ouvrages : homogénéité, anisotropie, variabilité spatiale des

propriétés mécaniques et hydrauliques de géomatériaux. Compte tenu du nombre restreint d'heures de contact consacrées à la géotechnique au baccalauréat, les étudiants sont mal à l'aise pour formuler des hypothèses notamment sur la stratigraphie et les propriétés des sols et du roc alors que c'est là le propre d'un ingénieur géotechnicien qui souvent ne bénéficie pas de toute l'information nécessaire pour produire un calcul valable. Le choix des méthodes de calcul appropriées pour le problème à traiter, constitue également une embûche de taille puisqu'elles sont souvent empiriques. Le tableau I brosse une vue d'ensemble des cours obligatoires et optionnels reliés à la géotechnique dans 15 des 29 universités canadiennes où un programme de génie civil est accrédité. On n'a considéré que les cours magistraux excluant les projets et on n'a pas examiné les programmes de génie géologique.

Tableau I : Cours reliés à la géotechnique dans les universités canadiennes.

	obligatoires	optionnels
1. University of British Columbia (Vancouver)	<u>Soil Mechanics I</u> <u>Soil Mechanics II</u>	Geo-Environmental Engineering Foundation Engineering I Foundation Engineering II Design of Earth Dams and Containment Structures

2. University of Alberta	Engineering Earth Sciences <u>Soil Mechanics</u>	Soil Engineering Geotechnical Design
3. University of Calgary (Calgary)	Geology, Engineering and the Environment <u>Geotechnical Engineering I</u>	Geotechnical Engineering II
4. University of Saskatchewan (Saskatoon)	Earth Processes Engineering Geology <u>Fundamentals of Soil Mechanics</u> <u>Geotechnical Engineering</u>	Geotechnical modeling Advanced Hydrogeology Rock Mechanics Petroleum Geomechanics
5. University of Manitoba (Winnipeg)	Geology for Engineers <u>Geotechnical Material and Analysis</u> <u>Geotechnical Design</u> Groundwater Hydrology	Geotechnical Engineering
6. University of Waterloo (Waterloo)	Earth Engineering <u>Geotechnical Engineering 1</u>	Geotechnical Engineering 2 Geotechnical Engineering 3
7. University of Windsor (Windsor):	<u>Geotechnical Engineering I</u> <u>Geotechnical Engineering II</u>	Foundation Engineering
8. University of Toronto (Toronto)	Earth Systems Science <u>Geotechnical Engineering I</u> <u>Geotechnical Engineering II</u>	Rock Mechanics Geotechnical Design Groundwater Flow and Contamination
9. Queen's University (Kingston)	Earth Systems and Engineering <u>Geotechnical Engineering I</u> <u>Geotechnical Engineering II</u> Groundwater Engineering	Geotechnical Design Geoenvironmental Design Subsurface Contamination
10. University of Ottawa (Ottawa)	Matériaux et processus géotechniques <u>Soil Mechanics I</u> <u>Soil Mechanics II</u> <u>Geotechnical Design</u>	Special Topics in Geotechnical Engineering Special Topics in Earth Sciences
11. McGill University (Montréal)	General Geology <u>Geotechnical Mechanics</u>	Geotechnical Engineering Geoenvironmental Engineering Groundwater Hydrology Groundwater Engineering
12. École Polytechnique (Montréal)	Géologie générale <u>Mécanique des sols</u> <u>Fondations</u>	Excavations et travaux souterrains Mécanique des roches en génie civil Géotechnique routière Digues et barrages en remblai Hydrogéologie appliquée
13. Université Laval (Québec)	Introduction aux sciences de la terre <u>Mécanique des sols</u> <u>Fondations</u> Pratique de la géotechnique	Géotechnique routière Géotechnique environnementale Compléments en mécanique des sols Conception et gestion de chaussées
14. Université de Moncton (Moncton)	Géologie de l'ingénieur <u>Mécanique des sols</u> <u>Fondations</u>	Géotechnique et ouvrages Hydrogéologie
15. Dalhousie University (Halifax)	Introductory Geology for Engineers <u>Soil Mechanics</u> <u>Geotechnical Engineering</u>	Engineering Hydrogeology Solid Waste & Landfill Engineering

Préalablement aux cours de géotechnique, les notions de base en calcul mathématique et numérique, en physique, en résistance des matériaux, en chimie et en informatique sont acquises. Il en est de même pour les cours de communications et de sciences humaines pour satisfaire les exigences du Bureau canadien d'accréditation des programmes en génie. De plus, la plupart des programmes comportent un cours d'éléments finis.

L'examen du tableau permet de faire les constatations suivantes :

- La plupart des programmes offrent un cours de géologie générale prérequis aux deux cours de géotechnique obligatoires (soulignés dans le tableau): propriétés géotechniques des sols et calcul des fondations.
- Deux programmes (#5 et #9) ont inscrit un cours en eaux souterraines obligatoire alors que la plupart l'offrent en mode optionnel.
- Quatre programmes (#1, #9, #11, #13 et #15) donnent un cours géotechnique & environnement en option.

- Seuls deux programmes (#12 et #13) offrent un cours de géotechnique routière.
- Quatre programmes (#4, #8 et #12) ont un cours portant sur la mécanique des roches.

Suite à cette énumération, on peut émettre les remarques suivantes :

- Les cours de base en géotechnique sont suffisants pour un ingénieur civil « généraliste » œuvrant dans la construction conventionnelle (édifices de faible hauteur, infrastructures routières, petits bassins de rétention) ou le génie municipal (égout, aqueduc, chaussées), par exemple. Ils sont nettement insuffisants pour un ingénieur-concepteur dans le domaine des ouvrages en terre, des excavations, des travaux maritimes comportant des sols de mauvaise qualité sur lesquels on construit de plus en plus.
- La compréhension du comportement à court terme et à long terme, en particulier dans les argiles, fait défaut compte tenu de la complexité du phénomène de la consolidation qui n'a pas été suffisamment couvert dans le premier cours de mécanique des sols.
- L'enseignement actuel de la géologie est très large et il est donné par les départements de géologie. Il devrait être professé dans l'optique d'une meilleure interprétation des sondages par les ingénieurs civils : formation des sols et de la roche, continuité et variabilité de la stratigraphie, anisotropie des propriétés, régime hydraulique souterrain, qualité et structure des massifs rocheux.

## 2 BESOINS DU MARCHÉ

Un tour d'horizon auprès d'ingénieurs géotechniciens œuvrant aussi bien dans le génie-conseil que dans les organismes gouvernementaux (Ministère des Transports) et paragouvernementaux comme Hydro-Québec qui constituent une grande partie des employeurs de finissants en génie civil, a rapporté les points suivants :

- Il existe un manque de connaissances en géologie appliquée au génie civil. Cette lacune est particulièrement ressentie par les organismes qui œuvrent dans le domaine des ouvrages de retenue : barrages en remblai, sites d'enfouissement, utilisation des géosynthétiques en renforcement, en drainage, en imperméabilisation.
- Relativement peu d'étudiants sont attirés par les études de cycles supérieurs à cause des conditions financières défavorables comparativement à ce qu'offre le marché du travail.
- Des ingénieurs géologues ne détenant pas de maîtrise sont embauchés comme spécialistes en géotechnique. Bien qu'ils aient de bonnes notions de géomorphologie et de prospection de terrain, ils ne possèdent pas le bagage suffisant en résistance des matériaux et en calculs de fondation.
- Les termes utilisés en géologie sont souvent différents de ceux utilisés en génie civil.

- Des décisions à caractère économique sont souvent prises par des ingénieurs civils « généralistes » qui occupent des postes importants, en se basant sur des notions acquises il y a 20 ou 30 ans. La géotechnique est une discipline qui a beaucoup évolué depuis cette époque.
- Un finissant actuel peut difficilement concevoir un mur de soutènement ou une fondation sur pieux avec des hypothèses réalistes, en l'absence de données fiables.
- Dans les études géotechniques courantes on note l'usage excessif et sans discernement de l'indice de pénétration standard pour les calculs de fondations.

## 3 PROPOSITION

Beaucoup de cours enseignés aux études supérieures pourraient être adaptés et répartis sur les deux dernières années du programme de premier cycle puisque les notions préalables auraient été approfondies et assimilées, contrairement à la situation actuelle où elles sont noyées à travers un ensemble de matières abordées superficiellement. L'ingénieur civil diplômé en géotechnique sera en mesure d'appliquer judicieusement tous les éléments qui sont contenus dans le Manuel canadien d'ingénierie des fondations. Ainsi on propose 10 cours de 3 crédits (45 heures), ou l'équivalent d'une année, répartis sur les dernières années puisque les notions de base sont prérequis. Ces cours s'abouteraient naturellement aux notions de calcul scientifique, résistance des matériaux, informatique et sciences humaines du tronc commun de génie civil pour répondre aux exigences du Bureau canadien d'accréditation des programmes de génie. Des projets intégrateurs portant davantage sur l'aspect géotechnique mais dans une perspective de génie civil, viendraient s'ajouter aux cours magistraux. On conserverait de plus les cours de génie civil portant sur les cinq domaines énumérés plus haut à savoir : structures, hydraulique, géotechnique, transports et environnement. Les cours proposés sont les suivants avec une ébauche de leur contenu :

1. **Géologie de l'ingénieur :**  
Géomorphologie, structures géologiques, photo-interprétation, principes d'identification des formes de terrain, pétrographie des granulats et problèmes de réactivité, cartes géologiques et géotechniques.
2. **Mécanique des roches :**  
Propriétés mécaniques, classification et caractérisation des massifs rocheux, stabilité de versants naturels et excavations en surface, tunnels : méthodes d'excavation (forage-sautage, tunneliers),
3. **Propriétés géotechniques des sols :**  
Caractérisation des sols en laboratoire et in-situ, propriétés des argiles, corrélations empiriques, résistance au cisaillement, action de l'eau, modèles de comportement.

4. **Interaction sol-structure :**  
Évaluation des charges structurales reportées sur les fondations, impact des déformations du sol sur le calcul des structures, complément de calcul de fondations superficielles et profonde, modélisation par éléments finis.
5. **Eaux souterraines :**  
Principes de base, loi de Darcy, équation de conservation, mesures et valeurs de perméabilité, réseaux d'écoulement en coupe et en plan, essais de pompage, rabattement de nappe
6. **Stabilité des pentes :**  
Analyse de stabilité de pentes naturelles, d'excavations et de remblais dans le sol, méthodes déterministes et probabilistes, hypothèses et méthodes de calcul, réglementation pour la sécurité, méthodes de mitigation.
7. **Ouvrages géotechniques :**  
Calcul des soutènements, amélioration des sols, drains verticaux, barrages en remblai, suivi de comportement des ouvrages par instrumentation, utilisation des géosynthétiques en renforcement.
8. **Géotechnique routière :**  
Sélection des sources de granulats, caractérisation des propriétés des granulats disponibles, spécifications de mise en place et de compactage, lois de comportement des géomatériaux, mécanique des sols non saturés, effets du gel et choix des techniques de mitigation.
9. **Géotechnique environnementale :**  
Ouvrages de rétention, stockage géologique des déchets, (conception et construction), barrières environnementales, outils de caractérisation de sites, géomembranes, géotextiles filtrants, injections, tranchées de boue.
10. **Conception parasismique :**  
Mouvements sismiques, types de charges dynamiques, conception des structures, liquéfaction, conception des murs de soutènement, des pentes et des barrages, fondations de machines.

Note : les 3 cours soulignés (#1, #2 et #7) seraient obligatoires. À défaut de prendre les 7 autres qui sont proposés, les étudiants pourraient les remplacer par un maximum de 3 cours à l'aide notamment de ceux du programme régulier de génie civil.

#### 4 DISCUSSION

Le programme proposé couvre tous les aspects de la pratique de la géotechnique et les diplômés auront assimilé les connaissances nécessaires au bout d'une période de formation de 4 ans. Ils pourront facilement se joindre à des équipes chargées de la conception de structures, de barrages et ouvrages de retenue, d'infrastructures de transport. Les bureaux spécialisés dans les études géotechniques seront sûrement un débouché important pour ces étudiants.

À cette nouvelle proposition, on peut toutefois apporter les objections suivantes :

a. une trop grande spécialisation des finissants pour le marché du travail. Le nouveau programme implique qu'il y aura un travail de promotion à faire auprès des nouveaux inscrits au programme de génie civil pour attirer les meilleurs étudiants, travail de promotion également auprès des employeurs éventuels. Avant la mise sur pied de ce programme, il serait toutefois utile de procéder à un sondage auprès des employeurs éventuels pour estimer le besoin réel de la profession.

b. la formation en géotechnique est adéquate. avec le système actuel des cours optionnels. Si on retourne au tableau I donnant les cours offerts, on constate qu'on ne retrouve dans aucune institution une gamme aussi complète de cours, chaque Université ou École développant un créneau correspondant aux compétences et aux intérêts du personnel en place

c. une dévaluation des études supérieures de maîtrise et doctorat. Le programme proposé facilitera le passage direct du baccalauréat au doctorat où le candidat aura acquis les notions préalables pour procéder à des travaux de recherche mieux appuyés.

#### CONCLUSION

La géotechnique est une discipline à part entière, chevauchant la géologie et la résistance des matériaux. La caractéristique des matériaux naturels est leur grande variabilité. À moins d'un diplôme d'études supérieures, les finissants actuels en génie civil aussi bien qu'en génie géologique sont insuffisamment formés pour concevoir adéquatement des ouvrages impliquant les dépôts meubles et les massifs rocheux. Les premiers ne font pas le lien entre la géologie et le comportement des ouvrages alors que les deuxièmes n'ont pas été suffisamment exposés aux méthodes de calcul basés sur la résistance des matériaux. En bref, les ingénieurs du baccalauréat actuel ne disposent pas des outils nécessaires pour prendre les bonnes décisions à incidence à la fois sécuritaires et économiques. La poursuite d'études supérieures rebute ces finissants alors qu'il existe un nombre insuffisant de détenteurs de maîtrises et de doctorats sur le marché du travail. On constate que dans la réalisation d'ouvrages de génie civil, les surcoûts importants sont la plupart du temps reliés à des problèmes causés par une mauvaise évaluation des conditions géotechniques. La présente proposition vise à pallier à ce manque.

#### LISTE DES SITES CONSULTÉS

1. The University of British Columbia :  
<http://www.calendar.ubc.ca/vancouver/?tree=12,195,272,37>

2. University of Alberta

<http://registraroffice.ualberta.ca/Calendar/~/media/registrar/pdfcal/15-16calendarpdf/Courses.pdf>

3. University of Calgary

<http://www.ucalgary.ca/pubs/calendar/current/en-4-2.html>

4. University of Saskatchewan

<http://www.usask.ca/programs/colleges-schools/engineering/programs/civil/index.php#EngineeringBEBachelorofScience-0>

5. University of Manitoba

[http://crscalprod1.cc.umanitoba.ca/~Catalog/ViewCatalog.aspx?htmlink=true&pageid=viewcatalog&catalogid=240&topicgroupid=13593&loaduseredit\\_s=true](http://crscalprod1.cc.umanitoba.ca/~Catalog/ViewCatalog.aspx?htmlink=true&pageid=viewcatalog&catalogid=240&topicgroupid=13593&loaduseredit_s=true)

6. University of Waterloo

<http://ugradcalendar.uwaterloo.ca/page/ENG-Civil-Engineering>

7. University of Windsor

<http://web4.uwindsor.ca/units/registrar/calendars/undergraduate/cur.nsf/982f0e5f06b5c9a285256d6e006cff78/12267bdaaaa7476f852573620060c901!OpenDocument>

8. University of Toronto

[http://www.apsc.utoronto.ca/Calendars/2014-2015/Engineering\\_Programs.html#Program3](http://www.apsc.utoronto.ca/Calendars/2014-2015/Engineering_Programs.html#Program3)

9. Queen's University

[http://engineering.queensu.ca/Calendar/CurrentYear/First\\_Year\\_Studies.html](http://engineering.queensu.ca/Calendar/CurrentYear/First_Year_Studies.html)

10. University of Ottawa

<http://www.uottawa.ca/academic/info/regist/annuaire/programmes/1457.html>

11. McGill University

<http://www.mcgill.ca/study/2014-2015/faculties/engineering/undergraduate/programs/bachelor-engineering-beng-civil-engineering>

12. École Polytechnique

<http://www.polymtl.ca/etudes/bc/cheminement/civil.php>

13. Université Laval

<https://www2.ulaval.ca/les-etudes/programmes/repertoire/details/baccalaureat-en-genie-civil-b-ing.html#description-officielle&structure-programme>

14. Université de Moncton

[http://www.umoncton.ca/repertoire/1er\\_cycle/prog\\_ingenierie\\_bing\\_gciv.htm](http://www.umoncton.ca/repertoire/1er_cycle/prog_ingenierie_bing_gciv.htm)

15. Dalhousie University

<http://www.dal.ca/faculty/engineering/civil-resource/current-students/undergraduate-students/program-curriculum.html>