

# LA FORMATION EN GEOTECHNIQUE DANS LES ECOLES D'INGENIEURS EN FRANCE

## GEOTECHNICAL EDUCATION IN FRENCH ENGINEERING SCHOOLS

Pierre DELAGE<sup>1</sup>, Claude PLUMELLE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ecole des Ponts ParisTech, Navier, CERMES, Marne la Vallée, France

<sup>2</sup> Professeur honoraire, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, France

**RÉSUMÉ** – On présente les principaux résultats d'une enquête réalisée auprès des écoles d'ingénieurs françaises dispensant un enseignement de géotechnique. Des données (non toujours vérifiables) ont pu être obtenues auprès de 47 écoles, permettant d'avoir une idée plus précise de l'offre de formation et du degré de connaissances pouvant être acquis par les étudiants motivés par la géotechnique.

**ABSTRACT** – The results of a survey of 47 French engineering schools providing education in geotechnical engineering are provided. The data (that could however not be fully checked) provide a more detailed idea about the courses offered in these schools, and how far motivated students can be educated in geotechnical engineering.

### 1. Introduction

Le Comité Français de Mécanique des sols et de la Géotechnique (CFMS) a lancé en septembre 2018 une enquête sur l'enseignement de la Géotechnique en France qui porte, dans un premier temps, sur les formations d'ingénieur (Delage et Plumelle, 2020). Cet article en reprend les principaux résultats.

De façon générale, les 4 listes de formations issues des données de la FNTF ([www.metier-tp.com](http://www.metier-tp.com)) extraites d'après 21 mots clés concernant le terme « sol » ont donné la liste suivante des établissements qui fournissaient un enseignement de la géotechnique (chiffres donnés à titre indicatif) : BTS / DUT : 68 établissements ; Licence PRO : 35 établissements ; Master : 49 établissements ; Ingénieurs : 47 établissements.

Un questionnaire a été diffusé sur internet auprès des établissements en juillet 2018, avec réponses dues pour le 28 septembre 2018. Ce questionnaire, finalement inadapté techniquement (sauvegarde et reprise de réponse partielle impossibles), a engendré de nombreuses réponses multiples, incomplètes ou inexactes, et un très grand nombre de relances, avec beaucoup d'énergie déployée pour contacter directement les correspondants des écoles qui n'avaient répondu.

Il est tout d'abord nécessaire de définir le terme ECTS (« European Credits Transfer System » en anglais « Système Européen de Transfert et d'Accumulation de Crédits » en français), qui a pour objectif de faciliter la lecture et la comparaison des programmes d'études dans les différents pays européens. Il permet d'intégrer les divers éléments du parcours de l'étudiant, notamment son travail personnel. Un semestre représente 30 ECTS, la formation d'ingénieur, sur 5 ans comptabilise donc 300 ECTS. Un ECTS représente 25h - 30h de travail de l'étudiant, à la fois en présentiel devant enseignant (cours, TD, TP, projets) et en travail personnel. La conversion des heures de présentiel en ECTS est assez variable. Les écoles attribuent en moyenne 1 ECTS pour 10 à 15 h de présentiel, ce qui introduit une distorsion importante dans les résultats des dépouillements des réponses des 42 établissements.

Les résultats présentés ici ont été comparés pour vérification aux données fournies dans le Dossier spécial ONISEP N°83 (2019) « Ecoles d'ingénieurs – Les clés pour

choisir » (<https://bibliothèque.onisep.fr/Collections/Grand-public/Dossiers/Les-ecoles-d-ingenieurs2>).

## 2. Historique

Une première enquête sur « L'enseignement de la mécanique des sols en France dans les formations d'ingénieurs en Génie Civil » a été réalisée par Kastner (2000). Sur la quarantaine d'établissements délivrant des diplômes d'ingénieur en relation avec le Génie Civil, 10 seulement avaient répondu : Ecole Centrale de Paris (ECP) et de Nantes (ECN), Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC), Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS), Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris (ENSMP), Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille (EUDIL), Institut Polytechnique de Lorraine - Ecole Nationale Supérieure de Géologie (INPL - ENSG), Institut National des sciences appliquées de Lyon (INSA Lyon), Institut National des sciences appliquées de Toulouse (INSA Toulouse) et Institut des Sciences et Techniques de Grenoble (ISTG).

R. Kastner distinguait 3 groupes d'établissement :

- Formation très généraliste, où le génie civil n'est qu'une option intervenant dans les 2 dernières années (ECP, ENMSP)
- Formation en Génie Civil dans les 3 dernières années (ENSAIS, INSA Lyon, INSA Toulouse, ECN, EUDIL, ENPC)
- Formation plus spécialisée dans le domaine de la Géotechnique et de la Géologie appliquée (INPL - ENSG, ISTG)

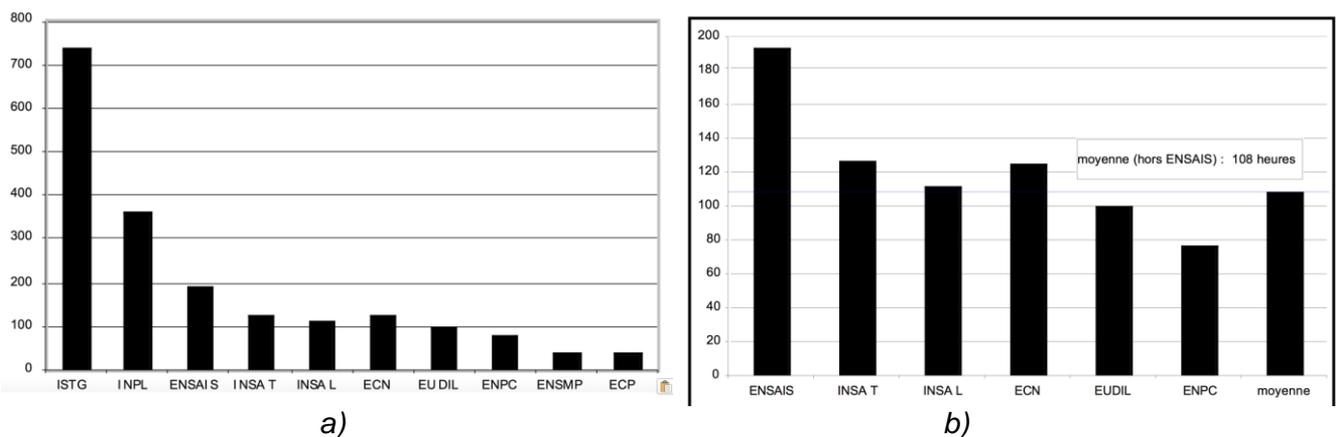


Figure 1. a) Horaires des cours obligatoires en Géotechnique ; b) Volume horaire de l'enseignement obligatoire en géotechnique dans les formations en génie civil (Kastner 2000)

La Figure 1b se réfère aux seules écoles de Génie Civil. L'auteur, en exceptant l'ENSAIS qui comporte un horaire important en Géotechnique (192h), dégage une moyenne de 108 h consacrées à la Géotechnique pour les 6 autres écoles (de 77h pour l'ENPC à 127h pour l'INSA Toulouse). Les programmes des enseignements obligatoires en Géotechnique de ces établissements portaient pour l'essentiel sur les bases de la mécanique des sols et le calcul des fondations et des soutènements. Les enseignements se présentaient sous la forme de cours (44%), travaux dirigés (35%) et travaux pratiques (21%).

Pour comparer avec les ECTS actuels, on obtient les chiffres suivants (les appellations d'écoles qui ont changé sont précisées entre parenthèses ; la fourchette correspond aux deux valeurs limites d'un ECTS, soit 10 ou 15h, voir plus haut) :

1. ISTG (Polytech Grenoble) : 49 – 74 ECTS
2. INPL - ENSG Nancy : 24 – 36 ECTS
3. ENSAIS (INSA Strasbourg) : 13 – 19 ECTS

4. INSA Toulouse : 9 – 13 ECTS
5. ECN : 8 – 12 ECTS
6. INSA Lyon : 7 – 11 ECTS
7. EUDIL (Polytech'Lille) : 7 – 11 ECTS
8. ENPC (Ecole des Ponts ParisTech) : 5 – 8 ECTS
9. ENSMP (Mines Paristech) : 3 – 5 ECTS
10. ECP (CentraleSupélec) : 3 – 5 ECTS

On a une moyenne pour les écoles de Génie Civil (hors ENSAIS) de 7 - 11 ECTS. Les étudiants avaient la possibilité de suivre des cours plus spécialisés en option qui ne sont pas comptabilisés dans les ECTS ci-dessus (dynamique des sols, génie parasismique ; modélisation élastoplastique ; rhéologie des géomatériaux ; thermo-hydrromécanique des roches ; géostatistiques, risques naturels et fiabilité des ouvrages ; interactions hydraulique - géotechnique ou sol – structure ; sols renforcés ; mécanique des roches ; travaux souterrains en site urbain ; déchets et effluents ; stabilité des versants.

### **3. Présentation de la « Cartographie des enseignements de la Géotechnique » en 2018**

L'enquête dans les écoles françaises d'ingénieur a été cartographiée suivant 13 grands thèmes, qui ne seront pas tous détaillés dans cet article, plus centré sur l'offre de formation :

- I. Nom, description, coordonnées de l'école
- II. Typologie
  - A. Ecoles d'ingénieurs généralistes, où le Génie Civil n'est qu'une option ;
  - B. Ecoles d'ingénieurs en Génie Civil ;
  - C. Ecoles d'ingénieurs en Géotechnique ;
  - D. Ecoles d'ingénieurs en Géologie ;
  - E. Autres écoles d'ingénieurs qui dispensent des bases de Géotechnique
- III. Mode de recrutement : niveau Bac avec scolarité sur 5 ans, ou Bac + 2 après concours CPGE et scolarité sur 3 ans, et les passerelles possibles à tous niveaux, sur concours ou dossier ;
- IV. Nationalité des étudiants
- V. Niveau des diplômes délivrés, diplôme d'ingénieur à Bac + 5 (le questionnaire était initialement à usage plus large qu'uniquement les formations d'ingénieur)
- VI. Planning de l'enseignement de la Géotechnique durant les 10 semestres (S1 à S10), sachant que certaines écoles proposent un enseignement de géotechnique dès les 2 premières années (S1 à S4)
- VII. Enseignements de base et généraux, des mathématiques au management, en passant par la mécanique des milieux continus (MMC)
- VIII. Offre de formation Géotechnique/Génie Civil sur 5 ans comprenant :
  - les Géosciences : géologie, hydrogéologie, géophysique, risques naturels ;
  - la Géotechnique : mécanique des sols (rappels de MMC, hydraulique souterraine, lois de comportement, tassements, essais de labo, essais in-situ, poussée - butée), mécanique des roches, dynamique des sols, reconnaissance des sols : sondages et essais in situ, essais de laboratoire, modélisation numérique et éléments finis appliqués aux ouvrages géotechniques, mécanique des sols avancée, sols non saturés, normalisations - Eurocodes / Missions d'ingénierie géotechnique, dimensionnement des ouvrages géotechniques, fondations, soutènements, stabilité des pentes, terrassement, routes, ouvrages en terre, renforcement, amélioration des sols, géotechnique environnementale ;
  - les Structures : béton armé, précontraint, charpentes métalliques, procédés généraux de construction, bâtiments, structures, industrie ;

- les Ouvrages géotechniques : voirie et réseaux divers (VRD), assainissement, travaux portuaires et fluviaux, digues et barrages et travaux souterrains .
- IX. Pédagogie, répartition des heures d'enseignement en présentiel en cours, TD, TP, projets, stages de terrain et en entreprises, enseignement en anglais, cours à l'étranger, mais aussi toutes les pédagogies innovantes (il n'a cependant pas été possible d'obtenir des écoles les éléments sur les stages en entreprise de géotechnique)
  - X. Types d'organisme dans lesquels travaillent les ingénieurs formés en Génie Civil et en Géotechnique
  - XI. Domaines / secteurs d'activité dans lesquels travaillent les ingénieurs formés en Génie Civil et en Géotechnique
  - XII. Activités en liens avec les organisations professionnelles (CFMS, Syntec - Ingénierie, USG, Soffons, FNTF, CFMR, CFGI, Entreprises)
  - XIII. Actions à développer avec la Profession (enseignement par des professionnels, visites de chantier, .... groupe de travail Enseignement - CFMS, ...)

#### 4. Résultats du questionnaire

L'obtention d'un nombre représentatif de réponses raisonnablement fiables a été longue et fastidieuse pour finalement obtenir, fin mars 2019, 42 réponses d'établissements localisés sur tout le territoire, comme l'indique la Figure 1.

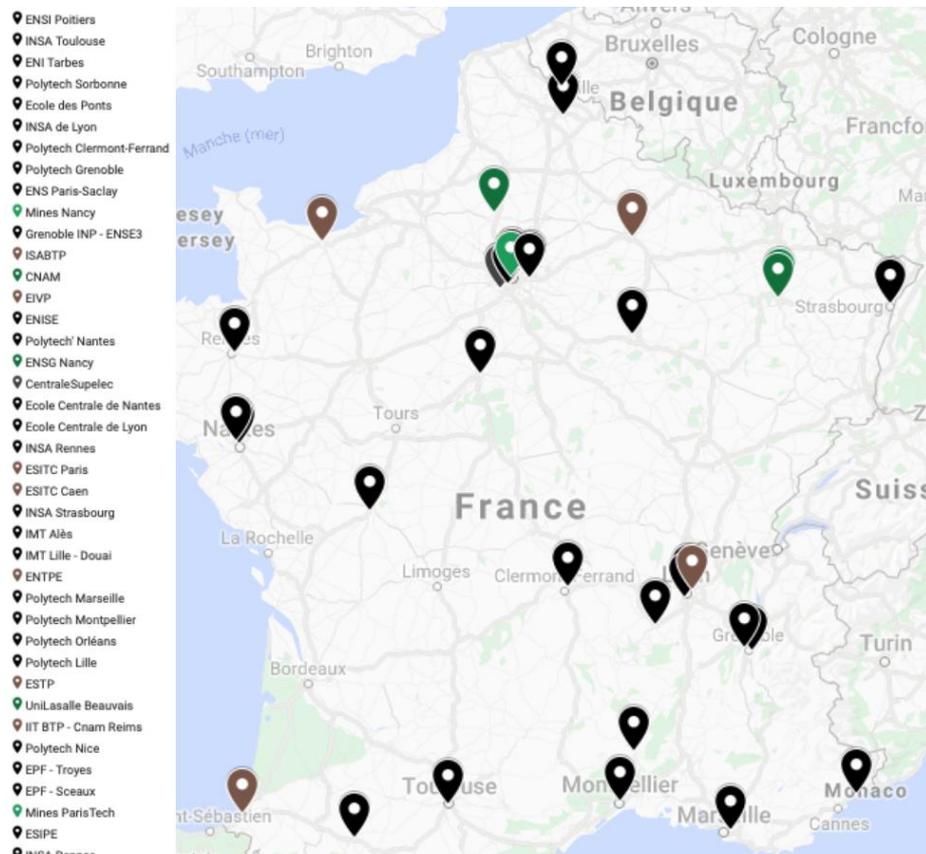


Figure 1. Localisation des écoles d'ingénieurs proposant une formation en géotechnique  
généraliste : noir ; génie civil : marron ; geotec, geol., geosc. : vert

Pour tenter d'améliorer la qualité de l'enquête, il a été demandé à chaque école de valider les informations, avec le retour de seulement 9 écoles (!), ce qui laisse penser que certaines des données présentées dans cet article pourraient être inexactes.

Le tableau 1 présente les 42 écoles d'ingénieurs et précise leur mode de recrutement. Les écoles sont recensées en 4 typologies : 28 écoles généralistes avec option en génie civil en 2ème ou 3ème année ; 8 écoles de génie civil au sens large (GC – BTP) ;

- 2 écoles avec enseignements approfondis en géotechnique/géologie ;
- 2 écoles généralistes avec option géosciences.

Tableau 1. Présentation de l'ensemble des formations d'ingénieurs

|                                                                              |              | Promotion GC | ECTS Géotech |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Généraliste avec option génie civil</b>                                   |              |              |              |
| <b>Recrutement post bac</b>                                                  |              |              |              |
| Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes                                       |              | 48           | 6            |
| EPF Ecole d'ingénieur.e.s - Campus de Sceaux (Structures et Matériaux)       |              | 30           | 8            |
| EPF Ecole d'ingénieur.e.s - Campus de Troyes (Bâtiment et écocités)          |              | 19           | 2            |
| INSA Lyon                                                                    |              | 100          | 27,3         |
| INSA Rennes                                                                  |              | 75           | 16,75        |
| INSA Rouen                                                                   |              | 32           | 27           |
| INSA Strasbourg                                                              |              | 90           | 17           |
| INSA Toulouse                                                                |              | 100          | 10           |
| Polytech Clermont-Ferrand                                                    |              | 80           | 16,25        |
| Polytech Grenoble (option géotechnique)                                      |              | 45           | 52           |
| Polytech Lille                                                               |              | 55           | 18           |
| Polytech Marseille                                                           |              | 55           | 15           |
| Polytech Montpellier                                                         |              |              | 7,5          |
| Polytech Nantes                                                              |              | 60           | 10           |
| Polytech Nice (Bâtiment durable)                                             |              | 48           | 7            |
| Polytech Orléans                                                             |              | 80           | 44           |
| Polytech Sorbonne                                                            |              | 40           | 32           |
| <b>Recrutement concours CPGE</b>                                             |              |              |              |
| Centrale Lyon                                                                |              | 40           | 3,2          |
| Centrale Nantes                                                              |              | 40           | 5            |
| Centrale Supélec                                                             |              | 20           | 5            |
| Ecole des Ponts ParisTech (ENPC)                                             |              | 70           | 15           |
| Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint Etienne                                |              | 70           | 11           |
| Ecole Nat. Sup. Eau Energie Environnement (ENSE <sup>3</sup> ), Grenoble INP |              | 25           | 20           |
| Ecole Nat. Sup. d'Ingénieurs de Poitiers (Spéc. génie de l'eau et GC)        |              | 70           | 26,5         |
| Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay* (ex Cachan)                           |              | 20           | 9            |
| Institut Mines Telecom Alès                                                  |              | 70           | 10           |
| Institut Mines Telecom Lille Douai                                           |              | 58           | 10           |
| <b>Recrutement dossier bac + 2</b>                                           |              |              |              |
| Ecole Supérieure d'Ingénieurs Paris-Est (ESIPE)                              |              | 35           | 12           |
| <b>Diplômés option génie civil d'école généraliste</b>                       | <b>Total</b> | <b>1475</b>  |              |
| <b>Génie civil</b>                                                           |              | Promotion GC |              |
| <b>Recrutement post bac</b>                                                  |              |              |              |
| Ecole supérieure des ingénieurs des travaux de la construction de Paris      |              | 75           | 7            |
| Ecole supérieure des ingénieurs des travaux de la construction de Caen       |              | 111          | 15           |
| Institut Supérieur Aquitain du Bâtiment et des Travaux Publics               |              | 60           | ?            |
| <b>Recrutement concours CPGE</b>                                             |              |              |              |
| Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris (Génie Urbain)                     |              | 130          | 4            |
| Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat                                |              | 70           | 21           |
| Ecole Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie, TP        |              | 250          | 22,75        |
| Ecole Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie, Bat       |              | 250          | 22,75        |
| <b>Recrutement concours pour DUT, BTS, Licence</b>                           |              |              |              |
| Cnam Grand Est, IIT - BTP, Reims                                             |              | 30           | ??           |
| <b>Diplômés d'écoles de génie civil</b>                                      | <b>Total</b> | <b>976</b>   |              |
| <b>Géologie</b>                                                              |              | Promotion    |              |
| <b>Recrutement post bac</b>                                                  |              |              |              |
| UniLasalle Beauvais                                                          |              | 110          | 34,5         |
| <b>Recrutement concours CPGE</b>                                             |              |              |              |
| École Nationale Supérieure de Géologie (Nancy)                               |              | 124          | 51           |
| <b>Géologie</b>                                                              | <b>Total</b> | <b>234</b>   |              |
| <b>Géosciences</b>                                                           |              | Promotion    |              |
| Mines de Nancy (généraliste avec option Géosciences)                         |              | 25           | 8            |
| Mines ParisTech (généraliste avec option Géosciences)                        |              | 5            | 9            |
| <b>Géosciences</b>                                                           | <b>Total</b> | <b>30</b>    |              |

Le pourcentage d'étudiants étrangers est en général de l'ordre de 20%, avec des pointes à 40% pour deux établissements.

Les données du tableau permettent de conclure que :

- 1475 ingénieurs en Génie civil sont diplômés par an par des écoles généralistes avec option Génie civil, au sein desquelles sont dispensés des enseignements de géotechnique d'importance très variable (de 5 à 52 ECTS pour PolyTech Grenoble). On estime qu'au moins 121 ingénieurs ayant suivi au moins 15 ECTS de géotechnique sortent de ces établissements.
- 976 ingénieurs en Génie civil sont diplômés par an par des écoles de Génie civil, au sein de laquelle sont dispensés des enseignements de géotechnique d'importance variable (de 7 à 22,75 ECTS pour ESTP). On estime qu'au moins 60 ingénieurs ayant suivi au moins 15 ECTS de géotechnique sortent de ces établissements.
- 234 ingénieurs géologues/géotechniciens sont diplômés par deux établissements (ENSG Nancy et UniLasalle) plus orientés vers les géosciences que le Génie civil. On estime que 65 ingénieurs ayant suivi au moins 15 ECTS de géotechnique sortent de ces établissements
- 30 ingénieurs sont diplômés avec 8 – 9 ECTS de géosciences par Mines Nancy et Mines ParisTech.

En résumé, parmi les 2451 ingénieurs formés en Génie civil recensés dans cette étude, au moins 181 ont suivi au moins 15 ECTS de Géotechnique, et parmi les 234 ingénieurs formés dans les deux établissements spécialisés en Géologie/géotechnique, 65 ont une formation approfondie (plus de 34,5 ECTS) en géotechnique.

## 5. Discussion

### 5.1. Programmation de l'enseignement en géotechnique

Certaines écoles (dont UniLaSalle Beauvais) débutent l'enseignement de la Géotechnique en semestre S1 de 1ère année. Les INSA (écoles Génie civil post-bac) démarrent généralement l'enseignement de la géotechnique en semestre S5 (3ème année après le bac) et poursuivent jusqu'en S9. Certaines écoles généralistes (recrutement CPGE) démarrent les enseignements spécialisés, dont l'initiation à la mécanique des sols en S7 (4ème année post bac, deuxième année d'école) et le calcul des ouvrages géotechniques en S8.

### 5.2. Enseignement de base et généraux

Toutes les écoles répondent qu'elles dispensent des enseignements de Mathématiques / probabilités / statistiques, Mécanique des milieux continus (MMC), Résistance des matériaux (RDM), Langues, Rédaction / Expression / Communication et Management / projet. On verra que certaines écoles, plus spécialisées en géosciences, proposent une formation moins approfondie dans les matières relatives à la construction (RDM, béton armé et précontraint, constructions métalliques,...), par rapport aux écoles plus ciblées génie civil.

### 5.3. Offre de formation en Géotechnique – Génie civil

Toutes les écoles proposent « un cursus à la carte », avec un parcours personnalisé pour chaque élève d'une même école. La Figure 2 présente le nombre d'ECTS en mécanique des sols et ouvrages géotechniques (voir définitions en 3. VIII) de chaque école. Les ECTS obligatoires et optionnels ont été agrégés, il s'agit donc du nombre d'ECTS suivis

par un étudiant motivé ayant suivi le maximum de cours disponibles dans son établissement.

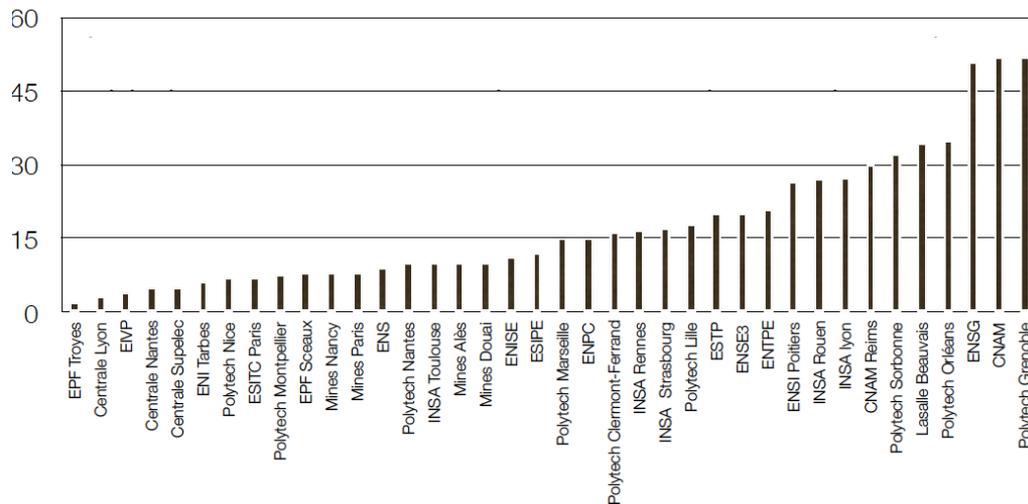


Figure 2. ECTS proposés en « géotechnique » et « ouvrages géotechniques » (voir définitions en 3. VIII).

Les formations spécialisées sont décrites en Figure 3 par importance croissante de leur enseignement en « géotechnique » et « géosciences » (voir définitions en 3. VIII).

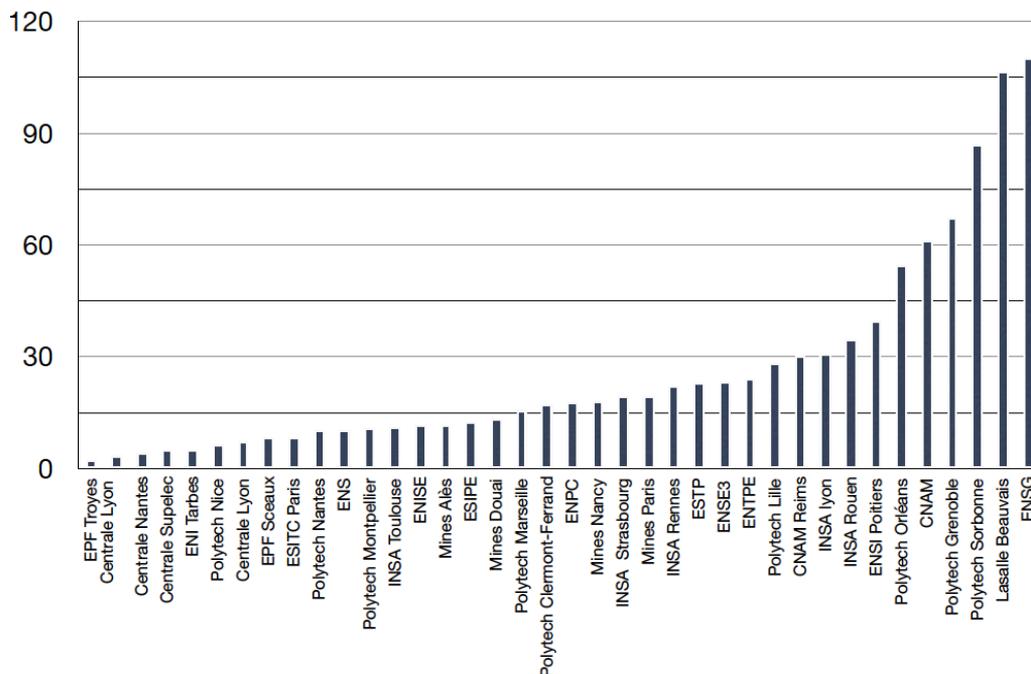


Figure 3. ECTS proposés en « géotechnique » et « géosciences » (voir définitions en 3. VIII).

Logiquement, un nombre élevé d'ECTS (> 50) sont proposés à Polytech Grenoble, CNAM et ENSG. Viennent ensuite Polytech Orléans, Lasalle Beauvais, Polytech Sorbonne et CNAM Reims, entre 30 et 45 ECTS. Les écoles suivantes tournent autour d'une vingtaine d'ECTS pour décroître progressivement vers 5 ECTS. Les instituts spécialisés en géosciences (ENSG Nancy, Polytech Sorbonne et UniLasalle Beauvais) ont, logiquement, une offre importante dans le domaine.

Une image des enseignements des écoles plus orientées génie civil est présentée en Figure 4, qui fournit le nombre d'ECTS dédié à la construction : béton armé et précontraint, constructions métalliques, procédés généraux de construction, bâtiments, structures, industrie (Il est à noter que certains chiffres apparemment très élevés n'ont pas

pu être vérifiés). Logiquement, les établissements spécialisés en géosciences et géotechnique ont des offres moins importantes en matières relatives à la construction.

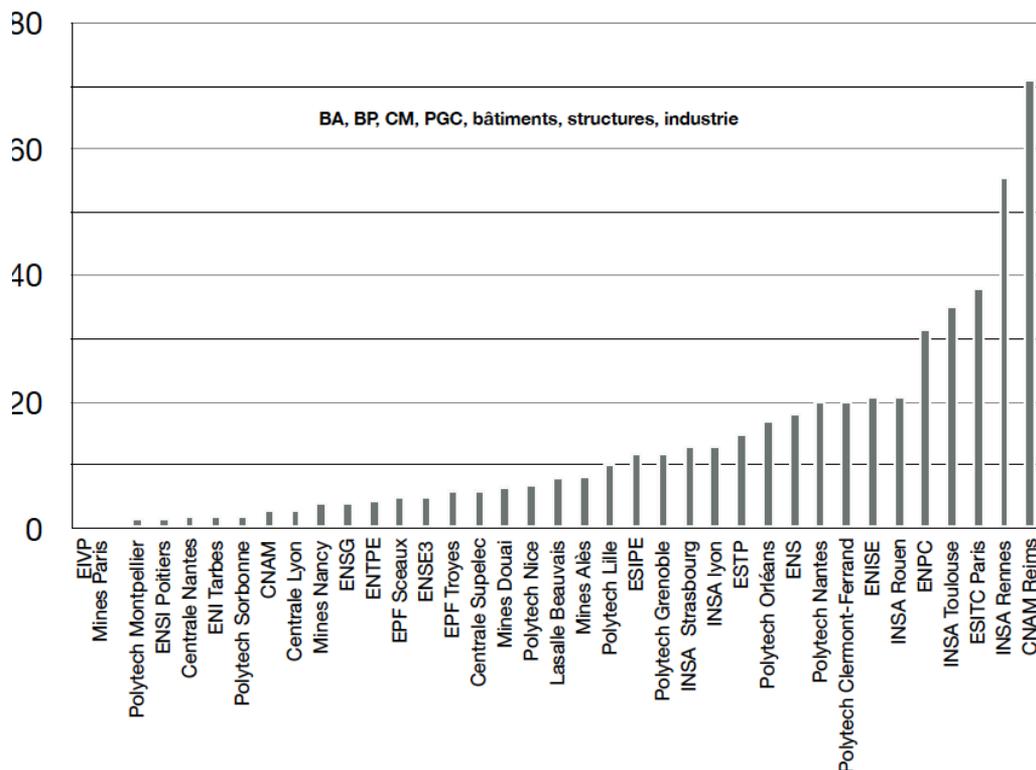


Figure 4. ECTS relatifs à la construction.

## 6. Conclusions

Cet article présente les principales observations résultant des données de l'enquête réalisée pour le CFMS auprès des écoles d'ingénieur française dispensant un enseignement de la géotechnique. Plus de détails sont disponibles dans le rapport diffusé par le CFMS, en particulier sur le type de sociétés recrutant les jeunes ingénieurs géotechniciens, les domaines d'activité concernés et les relations entretenues par les écoles avec la profession.

Un problème important posé par cette enquête est celui du nombre d'ECTS en géotechnique requis pour former un géotechnicien, sachant qu'une des spécificités de la profession est que l'expérience pratique acquise en stages, puis tout au long de la carrière est très importante. D'ailleurs, un grand nombre d'enseignants proviennent des entreprises, permettant de transmettre les retours d'expérience de la réalisation de projets complexes dans des conditions géotechniques par définition incertaines. Il est délicat de fixer un tel nombre d'ECTS. Cependant, la Figure 3 permet de constater que les écoles spécialisées fournissent plus de 50 ECTS, alors qu'un étudiant motivé par la géotechnique peut suivre, par le biais de cours optionnels, jusqu'à une moyenne de 30 ECTS (spécialisées) dans la plupart des écoles de génie civil.

## 7. Références bibliographiques

- Delage P. et Plumelle C. (2020). Cartographie des enseignements de géotechnique en France 1. Ecoles d'ingénieurs. Rapport remis au groupe "Promotion de la géotechnique" du CFMS.
- Kastner R. (2000). L'enseignement de la mécanique des sols en France dans les formations d'ingénieurs en Génie Civil. Comptes-rendus du 1er congrès international sur la formation en géotechnique, Sinaïa, Roumanie (voir aussi Lettre de la géotechnique n°23, juin 2001).

8. **Remerciements** : R. Elandalousi (ENPC), F. Emeriault (ENSE<sup>3</sup>), E. Flavigny (L3S-R)