



MASTÈRE SPÉCIALISÉ[®]
**TUNNELS ET
OUVRAGES
SOUTERRAINS**

MASTERE SPECIALISE : TUNNELS ET OUVRAGES SOUTERRAINS

de la conception à l'exploitation

L'aménagement des territoires, que ce soit à l'échelle nationale ou internationale, conduit à de grands projets de liaisons ferroviaires et routières, comportant une large part de souterrains pour le franchissement des obstacles naturels. De même, l'utilisation du sous-sol est l'une des réponses aux problèmes posés par le développement des grandes agglomérations.

Si le domaine des travaux souterrains a connu au cours des trois dernières décennies nombre d'innovations techniques, il doit faire face à de nouveaux défis concernant par exemple la sécurité, l'inscription dans une démarche de développement durable, les modes de gestion des projets et de financement.

Face à ces défis, l'AFTES qui rassemble en France les principaux acteurs du monde du souterrain, ainsi que le SYNDICAT DES TRAVAUX SOUTERRAINS, ont souligné le besoin en ingénieurs ayant une formation spécialisée de haut niveau dans ce domaine, faisant la place non seulement à la technique mais aussi à tous les aspects concourant à la conception, la réalisation et la gestion des ouvrages en souterrain. C'est dans ce contexte que l'INSA de Lyon et l'ENTPE, en association avec l'AFTES et le CETU proposent une formation post graduée intitulée: **TUNNELS ET OUVRAGES SOUTERRAINS: de la conception à l'exploitation**. Ce programme a été accrédité en tant que Mastère Spécialisé® par la Conférence des Grandes Ecoles.

Objectifs de la formation

Ce Mastère Spécialisé® vise à donner à des ingénieurs généralistes en génie civil une formation complémentaire d'un an en tunnels et ouvrages souterrains, leur permettant une évolution rapide vers des fonctions de responsabilités, que ce soit en entreprise, maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage ou en exploitation.

Son objectif est de former des professionnels ayant à la fois des compétences solides sur les divers aspects techniques du domaine des travaux souterrains, et une bonne connaissance de la démarche globale de conception des ouvrages souterrains, depuis les phases amont de définition du projet jusqu'aux contraintes liées à l'exploitation et à la maintenance.

Cette formation vise ainsi à donner aux étudiants :

- De solides bases scientifiques et techniques concernant le comportement des terrains, les approches de conception et vérification et les méthodes de construction ;
- Une bonne perception de la notion de risques à toutes les étapes, en intégrant les contraintes d'environnement et de développement durable ;
- Une bonne compréhension et connaissance de l'ensemble des éléments d'un projet d'ouvrage souterrain, depuis les phases amont de faisabilité jusqu'aux phases aval de réalisation de l'ouvrage, intégrant les contraintes liées à son exploitation.

L'ouverture aux aspects réglementaires, contractuels et la vision de l'ensemble des étapes et sujétions des projets doit permettre aux titulaires de ce mastère d'évoluer vers les fonctions de chef de projet et d'envisager de manière globale l'aménagement de l'espace souterrain, dans une optique de développement durable.

Les partenaires

Le Mastère Spécialisé® est délivré en co-accréditation par l'INSA Lyon et l'ENTPE, en partenariat étroit avec l'AFTES et le CETU. Il a obtenu le Label de formation internationale de l'AITES, ainsi que le soutien du Syndicat des Travaux Souterrains de la FNTP .

L'INSA et l'ENTPE sont deux Grandes écoles ayant des formations de génie civil de haut niveau considérées parmi les meilleures par la profession. Ces deux établissements mènent également depuis de nombreuses années des travaux de recherche dans le domaine des travaux souterrains, reconnus au niveau national et international.

L'AFTES regroupe l'ensemble des principaux acteurs français dans le domaine des travaux et de l'espace souterrain. Elle contribue notamment à faire progresser la connaissance en matière de travaux souterrains dans les domaines scientifiques, techniques, juridiques, administratifs, économiques et sociaux. Ses travaux ont abouti à ce jour à la publication de nombreuses recommandations en français et en anglais.

Le CETU est un organisme technique du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, en charge de l'ensemble des aspects relatifs aux tunnels. Il développe des recherches et des travaux de doctrine aussi bien sur les thèmes du génie civil, des équipements et de l'exploitation des ouvrages souterrains.

L'AITES est une Association Internationale qui regroupe 58 groupements nationaux (ou Nations Membres) ainsi que plus de 300 Membres Affiliés en provenance de tous les secteurs de l'Industrie des Tunnels et de l'Espace Souterrain. Elle a pour objectifs :

- D'encourager l'utilisation du sous-sol au profit du grand public, de l'environnement et du développement durable ;
- De promouvoir les progrès dans la planification, le projet, la construction, l'entretien, la réhabilitation et la sécurité des tunnels et de l'espace souterrain en rassemblant et confrontant les informations, ainsi qu'en étudiant les questions qui s'y rapportent.

Public concerné

Cette formation s'adresse aux titulaires d'une formation généraliste dans le domaine du génie civil et du génie géotechnique ou à des professionnels ayant une formation dans des domaines voisins tels que celui de la mécanique.

Niveau ou Diplôme requis

- Titulaires d'un diplôme de niveau BAC+5 ou équivalent (Ingénieur, Masters)
- Diplômes étrangers de niveau équivalent
- Cadres d'entreprise de niveau BAC+4 avec 3 ans d'expérience professionnelle

Métiers et débouchés

Métiers

- Ingénieur responsable d'une opération de tunnels
- Ingénieur études de prix
- Ingénieur méthodes projets et travaux
- Ingénieur responsable d'ouvrages souterrains en construction
- Ingénieur responsable d'ouvrages souterrains en exploitation

Débouchés

- Grands maîtres d'ouvrages dans le domaine des infrastructures de transports, des réseaux, de l'aménagement urbain, de l'énergie et du stockage
- Grandes entreprises du BTP et leurs filiales spécialisées dans le domaine des travaux souterrains
- Bureaux d'ingénierie agissant en tant que maître d'œuvre et/ou en charge des études de projet et d'exécution, du suivi de chantier, Bureaux d'études spécialisés
- Entreprises intervenant dans les domaines des équipements des ouvrages souterrains, constructeurs de matériels spécialisés
- Entreprises spécialisées dans le domaine de l'entretien et des travaux de réparation d'ouvrages souterrains
- Organismes techniques publics, organismes et bureaux de contrôle

Atouts de la formation

- Deux grandes écoles de référence en Génie Civil impliquées en recherche dans le domaine des travaux souterrains
- Partenariat étroit avec l'AFTES et le CETU, et avec les acteurs majeurs des travaux souterrains
- Nombreux débouchés dans un secteur porteur en constante évolution au plan national et international
- Formation labellisée au niveau international par l'AITES
- Equipe pédagogique constituée en majorité de professionnels et faisant appel à des experts nationaux et internationaux
- Méthodes pédagogiques diversifiées, associant cours, conférences, visites et projets
- Mission en entreprise de cinq mois
- Soutien financier possible pour les étudiants et demandeurs d'emploi

Organisation du cursus

Les enseignements du MS sont articulés en deux phases de 5 mois :

- **Un semestre d'enseignements (octobre à mi-mars)**
- des enseignements théoriques, des travaux dirigés, des conférences spécialisées, des visites de chantiers (360 h),
- un projet de groupe portant sur l'ensemble des étapes de conception et réalisation (150 heures tutorées).
- **Un semestre de stage en milieu professionnel (mi-mars à mi-août)**
- tutoré par l'équipe pédagogique et l'organisme d'accueil,
- débouchant sur la soutenance d'une thèse professionnelle.

Les enseignements comme le tutorat du projet font un très large appel (>90%) à des enseignants et experts français et étrangers issus de la profession.

Langues d'enseignement

Les enseignements seront pour l'essentiel donnés en français. Cependant, compte tenu du caractère international de la profession des travaux souterrains, certains enseignements et conférences seront donnés en anglais. Afin de pouvoir suivre cette formation, les candidats devront avoir une maîtrise suffisante des langues françaises et anglaises. Un niveau TOEIC de 700 points et de 490 points au TCF (test de connaissance du français) seraient un plus pour suivre ce cursus.

Lieu des cours et moyens matériels

Les cours auront lieu dans les locaux de l'INSA Lyon et de l'ENTPE. Les étudiants auront accès aux réseaux informatiques et aux outils logiciels nécessaires pour leurs projets.

Modalités d'admission

La sélection des candidats s'effectue en 2 phases :

- **Présélection sur dossier de candidature**
- Un Curriculum Vitae détaillé
- Une lettre de motivation
- Une copie du diplôme
- Un relevé des notes obtenues lors des trois dernières années de formation
- D'autres éléments tels que des lettres de recommandation peuvent faciliter l'admission au cursus
- **Sélection sur entretien devant un jury d'enseignants et de professionnels.**

Trois sessions de jury d'admission sont programmées. Merci de vous reporter à la feuille intercalaire jointe à ce document pour connaître les dates importantes de ces deux sessions.

Frais de scolarité

Les frais de scolarité incluent les cours, les supports écrits et l'encadrement.

Salarié d'entreprise en plan de formation personnel15 000 Euros TTC
Salarié en Congé individuel de formation15 000 Euros TTC
Etudiants et demandeurs d'emploi7500 Euros TTC

Un soutien financier pourra être accordé aux étudiants français et étrangers et demandeurs d'emploi, sur présentation d'un dossier, et après examen par une commission.

La mission en entreprise pourra donner lieu à gratification.

Présentation du programme

Les enseignements du 1^{er} semestre sont organisés en 6 modules complétés par des conférences spécialisées et un projet, suivant le tableau ci-dessous.

Cours et projet	Cours	Conférences	ECTS
Connaissances de base	63 h		6
Approche générale du projet	42 h	10 h	6
Techniques de construction	56 h	18 h	7
Conception et vérification	66 h	3 h	6,5
Equipements et sécurité			
en phase d'exploitation	33 h	4 h	3
Gestion du patrimoine de tunnel	23 h	4h	2,5
Projet	190h dont 150h tutorées		14
Mission en entreprise	5 mois	5 mois	30

Le Projet

Il s'agit d'un projet réalisé par groupes de 3 ou 4 étudiants, sur l'ensemble du 1^{er} semestre de formation, au cours duquel les étudiants seront amenés à mettre en œuvre, par étapes, leurs connaissances sur un projet réel. Cet exercice pédagogique vise à mobiliser les compétences individuelles des étudiants en situation professionnelle :

- Connaissance des grandes techniques et technologies mobilisables pour les travaux souterrains.
- Maîtrise des principales méthodes d'analyse et de conception, de la réglementation et de la normalisation dans le champ des travaux souterrains.
- Recherche documentaire, interaction avec les experts
- Capacité à travailler en équipe, aptitude à animer, à organiser.
- Capacité à communiquer, tant à l'oral qu'à l'écrit.

Il constituera une source d'options dans la mesure où chaque étudiant devra choisir d'approfondir des rubriques ou thèmes particuliers de ce projet.

La mission en entreprise

La formation se termine par une mission en entreprise de 5 mois minimum réalisée en France ou à l'étranger. Elément essentiel de la formation, elle constitue un travail personnel d'envergure par lequel l'étudiant doit démontrer sa capacité à mener à bien un projet ou une étude technique dans l'un des domaines des travaux en souterrain abordés lors de la formation théorique du 1^{er} semestre. Le travail peut être d'ordre scientifique, technique ou méthodologique.

- Un objectif pédagogique, cette mission étant la dernière activité tutorée de la formation
- Un objectif professionnel, l'étudiant étant en situation d'ingénieur spécialiste avant mise en situation réelle
- Un objectif de communication, la rédaction d'un document de synthèse (thèse professionnelle) et la soutenance orale des résultats devant permettre aux étudiants de mettre en œuvre et de développer des compétences en matière de communication dans le cadre professionnel.

Programme détaillé

**MODULE 1 : Connaissances de base
(63h de cours – crédits ECTS : 6)**

1.1. Base de Géologie pour l'Ingénieur

- 1.1.1. Familles de roches et formation des sols par altération
- 1.1.2. Discontinuités (failles, diaclases, stratification, ...)
- 1.1.3. Etat de contrainte dans les massifs rocheux
- 1.1.4. Eléments de reconnaissance géophysique
- 1.1.5. Eléments d'hydrogéologie
- 1.1.6. Formations géologiques problématiques

1.2. Comportement mécanique des sols

- 1.2.1. Identification physique des sols
- 1.2.2. L'eau dans les sols
- 1.2.3. Compressibilité- consolidation
- 1.2.4. Résistance au cisaillement (drainé, non drainé, non saturé, dilatance, contractance, liquéfaction, ...)
- 1.2.5. Comportement des sols améliorés par traitements
- 1.2.6. Les essais de sols en laboratoire et in situ

1.3. Comportement mécanique des roches

- 1.3.1. Identification et classifications
- 1.3.2. Description du comportement mécanique à partir d'essais de laboratoire
- 1.3.3. Eléments de thermo-hydro-mécanique des roches
- 1.3.4. Comportement des discontinuités (mécanique, hydromécanique)
- 1.3.5. Comportement du massif rocheux à l'échelle de l'ouvrage
- 1.3.6. Homogénéisation des propriétés mécaniques
- 1.3.7. Corrélations avec les essais in situ

1.4. Matériaux et structures

- 1.4.1. Comportement des bétons armés et non armés, des bétons projetés et fibrés
- 1.4.2. Comportement des coulis et mortiers, des boulons (métalliques et fibre de verre)
- 1.4.3. Comportement des structures métalliques (cintres...)
- 1.4.4. Tenue au feu
- 1.4.5. Vieillessement des matériaux de construction : corrosion, dissolution, fluage

1.5. Introduction à la modélisation numérique

- 1.5.1. Lois de comportement avancées
- 1.5.2. Principe des méthodes numériques (Eléments Finis, Eléments distincts)
- 1.5.3. Prise en main d'un logiciel EF
- 1.5.4. Choix d'une loi de comportement, conception du maillage, conditions aux limites et conditions initiales, phasage de calcul...

1.6. Gestion de l'aléa et analyse de risque

- 1.6.1. Rappel de notions de statistiques
- 1.6.2. Présentation de la méthodologie

1.7. Mini Projet

Application des notions de base enseignées dans un projet de modélisation d'une structure enterrées simple à l'aide de la méthode des éléments finis.

**MODULE 2 : Approche générale du projet
(42h de cours – 10h de conférences spécialisées - crédits ECTS : 6)**

2.1. Le panorama des ouvrages souterrains

- 2.1.1. Les besoins en matière d'ouvrages souterrains
- 2.1.2. Cadre général et les acteurs
- 2.1.3. Spécificités des travaux souterrains : Enjeux et risques

2.2. Le cadre général et les acteurs

- 2.2.1. Les acteurs, leurs rôles et responsabilités ; - Rappel du schéma classique
- 2.2.2. Cadre réglementaire

2.3. De la conception à la réalisation

- 2.3.1. Conception
 - 2.3.1.1. Expression du besoin – Programme fonctionnel
 - 2.3.1.2. Critères de conception – Réponse technique au programme
 - 2.3.1.3. Développement durable – Phase amont
 - 2.3.1.4. Les grandes étapes d'une étude - Des études de faisabilité à l'élaboration du DCE – Estimation coût et délai
 - 2.3.1.5. Management des risques et contractualisation - Rappels sur les méthodes de construction (notions de cycles, cadences et coûts afférents) et (y compris critères de jugement des offres et mise au point du marché)
- 2.3.2. Réalisation
 - 2.3.2.1. Planification générale selon les méthodes
 - 2.3.2.2. Réalisation interactive
 - Rappels sur la méthode observationnelle
 - Rappels des principes clés et fondateurs
 - Conséquences sur le suivi des travaux
 - Conséquence sur les études d'exécution
 - Conséquences sur la gestion des marchés
 - 2.3.2.3. Impacts des chantiers
 - Bruits, Vibrations, Tassements, Bâti, Eaux (d'exhaure et superficielles), Transports
 - 2.3.2.4. Développement Durable – Phase aval

2.4. - Au delà du schéma classique

Schémas alternatifs, en France et à l'étranger

2.5. Mini Projet

2.6. Conférences

**MODULE 3 : Techniques de construction
(56h de cours – 18h de conférences spécialisées - crédits ECTS : 7)**

3.1. Introduction : Présentation de l'éventail des techniques

3.2. Reconnaissances et auscultations

- 3.2.1. Généralités, définition des domaines d'application
- 3.2.2. Techniques de reconnaissance avant creusement et à l'avancement
- 3.2.3. Techniques d'auscultation en cours de chantier

3.3. Tunnels – Creusement et soutènement

- 3.3.1. Méthode conventionnelle : pleine section ou section divisée
- 3.3.2. Tunnels à l'explosif
- 3.3.3. Méthode d'abattage au brise roche ou à la machine ponctuelle
- 3.3.4. Creusement au tunnelier au rocher
- 3.3.5. Creusement au tunnelier en terrain meuble

3.4. Etanchéité et revêtement

- 3.4.1. Etanchéité et drainage
- 3.4.2. Revêtement et aménagement

3.5. Confortement des terrains

- 3.5.1. Généralités
- 3.5.2. Techniques particulières d'entrée en tunnel (berlinoises, "jet grouting", clouage de parois...)
- 3.5.3. Voûtes parapluie et prévoûtes
- 3.5.4. Techniques d'injection de sol
- 3.5.5. Techniques de congélation de sol
- 3.5.6. Techniques de rabattement de nappes

3.6. Ouvrages annexes et divers

- 3.6.1. Puits, cheminées, galeries inclinées
- 3.6.2. Tranchées couvertes
- 3.6.3. Stations de métro : différentes techniques (paroi moulée, pal-planches, butonnage...)
- 3.6.4. Grandes voutes pour projets urbains
- 3.6.5. Niches et galeries inter-tubes
- 3.6.6. Stations de ventilation/climatisation et de pompage
- 3.6.7. Techniques particulières et risques liés à ces techniques

3.7. Conférences spécialisées

- 3.7.1. Pour thème 3.3.2 : conférence spéciale sur MORSE et conférence spéciale fabricant jumbo robotisé
- 3.7.2. Pour thème 3.3.4 : conférence spéciale fabricant de tunnelier au rocher
- 3.7.3. Pour thème 3.3.5 : conférence spéciale fabricants de tunnelier pour terrains meubles
- 3.7.4. Pour thème 3.5.3 : conférences de spécialistes Voûtes parapluie et prévoûtes
- 3.7.5. Conférence spéciale Tunnels immergés
- 3.7.6. Microtunnels et forages dirigés

MODULE 4 : Conception et justification

(66h de cours – 3h de conférences spécialisées - crédits ECTS : 6.5)

4.1. Conception

- 4.1.1. Introduction générale
- 4.1.2. Caractérisation du massif - recommandation du GT1 AFTES
- 4.1.3. Principes de conception du soutènement et du revêtement
- 4.1.4. Les tunneliers, éléments de choix

4.2. Justification

- 4.2.1. Définition du modèle géomécanique
- 4.2.2. Soutènement
 - 4.2.2.1. Rappel du contexte normatif – Eurocodes
 - 4.2.2.2. Stabilité en arrière du front
 - 4.2.2.3. Stabilité du front
- 4.2.3. Étude de cas
- 4.2.4. Justification du revêtement
- 4.2.5. Tunnelier sol meubles / roche dure
- 4.2.6. Tunnels creusés en site urbain – Interaction avec les avoisinants
- 4.2.7. Éléments de dimensionnement des ouvrages de soutènements (tranchées couvertes, têtes de tunnel)

4.3. Conférences spécialisées

- 4.3.1. Pour thème 4.1 : Spécificités des tunnels creusés en site urbain
- 4.3.2. Pour thème 4.2 : Cas particulier des intersections

4.4. Etude de cas

MODULE 5 : Équipements et sécurité en phase d'exploitation

(30h de cours – 4h de conférences spécialisées - crédits ECTS : 3)

5.1. Les grands principes de la sécurité

- 5.1.1. Domaines du transport : routier, ferroviaire et transports guidés
- 5.1.2. Espaces souterrains

5.2. Les principales dispositions d'exploitation et de sécurité pour les tunnels routiers

5.3. Les principales dispositions d'exploitation et de sécurité pour les tunnels ferroviaires

5.4. Les sujétions propres aux travaux liés aux Équipements

- 5.4.1. Lors de la mise au point du projet détaillé, de la phase de construction, puis de la phase d'exploitation
- 5.4.2. Organisation et déroulement d'un chantier d'équipements

5.5. Les conférences spécialisées

Approche internationale de la sécurité des espaces souterrains
Approche comparée de la sécurité dans les espaces souterrains (pompiers en situation opérationnelle)

5.6. Etude de cas

MODULE 6 : Gestion du patrimoine de tunnel

(23h de cours – 4h de conférences spécialisées - crédits ECTS : 2.5)

6.1. Principe de maintenance

- 6.1.1. Gestion d'un patrimoine de tunnels
- 6.1.2. Principe de maintenance des tunnels

6.2. Connaissance de l'ouvrage & Constat de l'état

- 6.2.1. Méthodes anciennes de construction
- 6.2.2. Désordres et Pathologies
- 6.2.3. Pré-diagnostic & Cotation

6.3. Auscultation, instrumentation et investigations

- 6.3.1. Investigations sous contraintes d'exploitation
- 6.3.2. Levés en lumière visible et infrarouge
- 6.3.3. Suivi instrumenté (nivellement, convergence, chargement, fissuration...)
- 6.3.4. Dispositif d'acquisition des données, alarmes, seuils...

6.4. Intervention durant la vie de l'ouvrage

- 6.4.1. Entretien courant et entretien spécialisé
- 6.4.2. Travaux de régénération
- 6.4.3. Traitement des venues d'eau
- 6.4.4. Intervention structurelle sur ouvrages en exploitation
- 6.4.5. Sécurisation des tunnels

6.5. Conférences spéciales

- 6.5.1. Exemple de politique de gestion du patrimoine
- 6.6. Etude de cas

RESPONSABLES PÉDAGOGIQUES

Florent PRUNIER
floran.prunier@insa-lyon.fr
Denis BRANQUE
denis.branque@entpe.fr

SECRETARIAT

Isabelle MINGUEZ
isabelle.minguez@insa-lyon.fr
Tél. : +33 (0)4 72 43 81 42

Dossier de candidature
**SEFDI : Service de Formation
Diplômante tout au long de la vie**

1, rue des Humanités
69621 Villeurbanne cedex
Tél. +33 (0)4 72 43 81 42
Fax +33 (0)4 72 43 85 08
sefdi@insa-lyon.fr
www.insa-lyon.fr

INSA LYON

Campus LyonTech La Doua
20, avenue Albert Einstein
69621 Villeurbanne cedex - France
Tél. + 33 (0)4 72 43 83 83
Fax + 33 (0)4 72 43 85 00
www.insa-lyon.fr

