

# **LA GESTION DES RISQUES, ATOUT MAJEUR DE LA CONCEPTION ET CONSTRUCTION DES INFRASTRUCTURES**

## ***RISKS MANAGEMENT, THE MAIN COMPONENT FOR INFRASTRUCTURES DESIGN AND BUILT***

Jacques ROBERT  
*ARCADIS, PARIS, France*

**RÉSUMÉ** – Les incertitudes résiduelles inévitables affectant la connaissance du contexte géotechnique et des avoisinants d'un projet nécessitent une bonne maîtrise des risques associés. Une gestion des risques est à mettre en place dès l'initialisation de la conception : elle sera partagée entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre, puis avec l'entreprise lors de l'exécution des travaux.

**ABSTRACT** – Inevitable residual uncertainties affecting knowledge of the geotechnical context and environment of a project require a good control of the associated risks. A risks management is to be put in place at the beginning of the design: it will be shared between the owner and the engineering during design, then with the contractor during the works.

### **1. Introduction**

La spécificité d'un projet d'infrastructure (sous-sols d'un bâtiment, ouvrages enterrés) résulte de sa forte interaction avec le contexte géotechnique du site et les avoisinants en surface ou enterrés situés dans sa zone d'influence géotechnique. La connaissance du contexte géotechnique comporte toujours un certain degré d'incertitudes car le sous-sol est invisible et reconnu uniquement au droit d'investigations ponctuelles : par ailleurs, il est difficile d'appréhender l'état initial des formations constitutives ainsi que leur comportement lors des travaux à réaliser. La connaissance des avoisinants est partielle, surtout au niveau de leur infrastructure : leur sensibilité intrinsèque vis-à-vis des mouvements du massif d'assise est ainsi appréciée avec plus ou moins d'incertitudes.

Dans un tel contexte de connaissance qui sera toujours partielle, il est primordial de bien identifier dès le début des études de conception les incertitudes pouvant influencer sur les conditions de réalisation du projet afin de les réduire à un niveau acceptable permettant alors de mieux gérer les risques associés pour le projet. Cette gestion des incertitudes et des risques associés oriente fortement la conception de l'infrastructure puis les conditions de réalisation des travaux. La norme NF P94-500 (2013) sur les missions d'ingénierie géotechnique explicite au paragraphe 4.1 l'importance de l'enchaînement des missions dans la maîtrise des incertitudes et risques géotechniques.

### **2. Les objectifs de la gestion des risques**

Le premier objectif est d'assurer la sécurité des personnes, que ce soit le personnel de chantier et les riverains lors des travaux ou les futurs usagers en exploitation.

Le second objectif est de garantir la qualité de l'ouvrage, le respect du délai et du coût de construction.

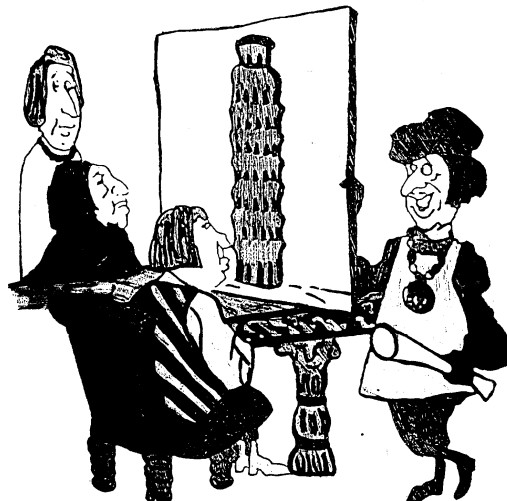
La méthodologie mise en œuvre doit permettre de prévenir plutôt que de subir, et ainsi de gérer le projet et ses risques associés aux incertitudes en partenariat entre le maître

d'ouvrage, le maître d'œuvre et ses ingénieries, les entreprises. L'anticipation, l'alerte, la réactivité et le contrôle permettent d'optimiser les conditions de réalisation de l'ouvrage.

Certes, la gestion des risques ne permet pas de réaliser les travaux avec un risque résiduel nul, mais il permet de se comporter en audacieux qui a le sens du risque et non en tête brûlée qui aime le risque. Surtout, il ne faut pas surestimer ses capacités dans la prévision : comme disait Antoine de Saint-Exupéry « Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir mais de le rendre possible ». La gestion des risques n'est pas une panacée mais une aide pour réaliser un projet en maîtrisant au mieux les imprévus.

### 3. La réduction des incertitudes et de leur impact sur le projet

La première étape dans la gestion des risques est de disposer de données fiables pour concevoir le projet. Les données les plus importantes concernent la connaissance du contexte géotechnique du site (figure 1), de la sensibilité des avoisinants et des principales contraintes d'exploitation future de l'ouvrage (volumes à respecter, degré d'étanchéité exigé en particulier). Il est donc indispensable d'entreprendre au plus tôt les investigations (SYNTEC-INGENIERIE, 2016) permettant de réduire les incertitudes qui ont le plus d'influence sur le déroulé du projet jusqu'à son achèvement. La progressivité des investigations dans le temps permet de les adapter au fur et à mesure en fonction de l'évolution de la conception du projet et ainsi d'optimiser leur efficacité.



Nous avons gagné 3 semaines en ne faisant pas les investigations géotechniques  
Figure 1. Risque associé à une incertitude sur la connaissance du contexte géotechnique

Il faut laisser le temps au temps : la réduction des délais consacrés à la conception est à proscrire, dicit Eugène FREYSSINET dès 1954 : « Il faut se garder, comme de la peste, d'accepter des délais d'études trop courts. On peut impunément réduire les délais d'exécution : il n'en résulte qu'une modeste exagération de dépenses, si une bonne étude a préparé l'exécution. Mais une étude insuffisamment mûrie faute de temps est la source de catastrophes sur tous les plans : sécurité, dépenses, délais, esthétique ».

Il n'est pas possible de supprimer toutes les incertitudes : la connaissance du contexte géotechnique et des avoisinants en particulier sera toujours entachée d'incertitudes, mais il est important de réduire en priorité celles qui ont le plus d'influence sur les conditions de réalisation du projet.

La deuxième étape dans la gestion des risques consiste à retenir une conception robuste pour le projet qui doit s'accommoder le plus possible des incertitudes restantes afin qu'elles ne se traduisent pas toutes en risques avérés (figure 2). Les méthodes et

matériels préconisés doivent permettre d'atteindre un niveau de risques acceptable grâce à la progressivité des études et des investigations et à leur éventuelle adaptabilité : elles doivent faire l'objet d'une validation ou d'une adaptation par l'entreprise.

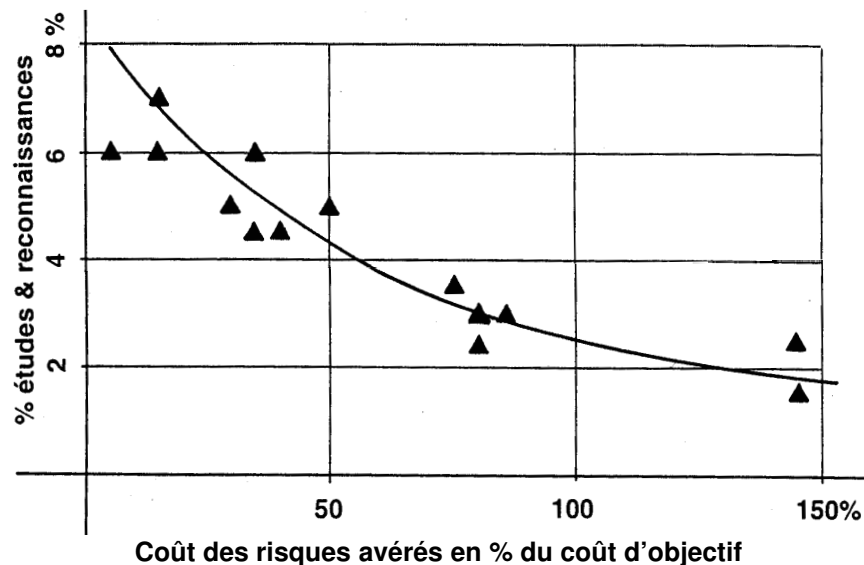


Figure 2. Corrélation entre coût des études + investigations et coût des risques avérés pour des projets de tunnels

La troisième étape consiste à en faire une mise à jour dynamique en phase travaux : il s'agit d'exploiter en temps réel les retours d'expériences accumulés au fil du déroulement du chantier (réduction des incertitudes grâce aux nombreuses données supplémentaires collectées) et d'adapter sans délai si nécessaire les conditions de réalisation des travaux.

#### 4. Les fondamentaux de la gestion des risques

Pour aboutir à une gestion efficace des risques résiduels, il faut un leader ayant la compétence et la présence nécessaire pour un accompagnement depuis le début de la conception jusqu'à la réception de l'ouvrage : l'ingénierie en charge de la maîtrise d'œuvre du projet répond le mieux à ces deux critères. Il initie la gestion des risques en phase de conception, en accord avec le maître d'ouvrage qui est le seul à pouvoir définir le niveau de risques qui lui est acceptable. Il établit les documents indispensables à la gestion des risques pendant les phases de conception et leur dernière version en phase projet sert de base pour le dossier de consultation des entreprises (DCE).

Le plan de management des risques (PMR), document destiné à être contractualisé au même titre que le CCTP dont il est un complément, précise la méthodologie mise en œuvre en matière de gestion des risques résiduels, tant au stade de la conception qu'au stade à venir de la réalisation des travaux. Il précise les risques résiduels identifiés au stade de la conception, les mesures préventives intégrées dans la conception pour réduire leur niveau de risque (NR), les mesures de détection au plus tôt de leur survenance, les conséquences prévisibles en cas de survenance et les mesures correctives à mettre en œuvre tant pour assurer la mise en sécurité du chantier que pour permettre la poursuite des travaux. Il précise les conditions de prise en charge des mesures correctives pour chaque risque résiduel identifié, en se référant à trois cas types :

- Type 1 : risque laissé à la charge de l'entreprise, sans rémunération ni délai supplémentaire. Ce sont principalement les risques liés au savoir-faire de l'entreprise (choix des matériels et techniques de construction) et les risques géotechniques dont les conséquences ne bouleversent pas l'équilibre financier du marché,

- Type 2 : risque laissé à la charge du maître d'ouvrage, dont les mesures correctives peuvent être rémunérées par application des prix du BPU Risques, y compris les éventuelles conséquences en termes de délai. Il s'agit des risques liés à des conditions géotechniques de site différentes de celles du mémoire de synthèse géotechnique (à l'exception de ceux explicitement laissés à la charge de l'entreprise et classés en type 1) ou à des modifications de programme, de réglementation ou de voisinage par rapport aux conditions précisées dans le DCE,

- Type 3 : risque laissé à la charge du maître d'ouvrage, dont les mesures correctives ne peuvent pas être rémunérées par application des prix du BPU Risques mais sur négociation. Il s'agit des mêmes types de risque que ceux du type 2, mais sans possibilité de définir un mode de rémunération a priori (mesures correctives non prédéfinies).

Un devis quantitatif indicatif (DQI Risques) est établi pour les risques de type 2.

Le PMR contient trois annexes :

- Le registre des risques (RR) : il permet de finaliser le contenu du BPU Risques et du DQI Risques, documents nécessaires pour quantifier la provision pour risques (PRI). Les risques résiduels sont classés dans le RR selon leur catégorie (risques administratifs et réglementaires, risques de programme et d'interface avec d'autres projets, risques techniques), puis selon leur sous-catégorie (par exemple pour les risques techniques, risques géotechniques, risques liés aux avoisinants, risques liés à l'environnement naturel et humain, risques liés aux méthodes et matériels de l'entreprise), et dans chaque sous-catégorie selon leur NR décroissant,

- Le modèle de fiche de suivi de risque (une fiche par risque identifié, initialisée au démarrage des études d'exécution et mise à jour si nécessaire pendant les travaux),

- Le modèle de fiche de suivi d'incident (une fiche par incident survenu, mise à jour en fonction des mesures correctives réalisées).

Pour que cette gestion des risques soit partagée entre le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise qui sera retenue, chaque candidat doit s'appropriier ces documents de gestion des risques du DCE. Le candidat peut proposer, en plus d'une offre conforme à ces documents, des adaptations si elle l'estime pertinent en fonction de son savoir-faire et de ses choix de méthodes et moyens matériels explicités dans son mémoire technique : le maître d'ouvrage peut accepter ou rejeter ces adaptations après négociation.

Le contrat de travaux, finalisé avec le candidat le mieux disant selon des critères précisés dans le règlement de consultation, doit prévoir une rémunération sur prix mixtes forfaitaires et unitaires :

- Des prix forfaitaires pour toutes les prestations bien définies, intégrant éventuellement des risques de type 1,

- Des prix unitaires pour les prestations soumises à des variations quantitatives encadrées (BPU et DE), hors risques,

- Des prix unitaires pour les mesures correctives intégrées dans la provision pour risques de type 2 (BPU Risques, DQI risques, PRI2),

- Une rémunération sur négociation pour mesures correctives non finalisées dans le contrat (risques de type 3 et éventuellement risques non identifiés).

Pour motiver l'entreprise à ce management des risques « en bon père de famille », une clause d'intéressement (bonus/malus) peut être définie en intégrant à la provision pour risques identifiés de type 2 établie sur la base du DQI Risques une provision pour les risques de type 3 : il s'agit d'un choix stratégique du maître d'ouvrage.

A titre d'exemple, le coût final prévisionnel du projet (CFP) est égal à la somme du coût prévisionnel (CP) sur la base des prix forfaitaires et unitaires (BPU et DE) et de la provision pour risques identifiés PR<sub>23</sub> sur la base du BPU Risques et DQI Risques majoré de la provision pour risques de type 3, soit  $CFP = CP + PR_{23}$ .

Le maître d'ouvrage doit ajouter à ce CFP une provision pour risques non identifiés afin d'être sûr d'avoir le budget suffisant pour mener à son terme le projet, provision non communiquée à l'entreprise car c'est un risque propre au maître d'ouvrage.

Le montant de référence (MR) est égal au CFP majoré des dépenses supplémentaires acceptées par le maître d'ouvrage (aménagements non prévus au projet, adaptations de programme, mesures correctives pour risques non identifiés survenus).

Le coût final définitif (CFD) est égal au coût des travaux réglés à l'entreprise. En comparant CFD et MR, il peut alors être défini une formule de bonus / malus, le pourcentage  $x$  étant négocié dans le cadre de la finalisation du contrat de travaux :

- Si  $CFD < MR$ , bonus égal à  $x\%$  ( $MR - CFD$ ),
- Si  $CFD > MR$ , malus égal à  $x\%$  ( $CFD - MR$ ).

Le retour d'expérience montre que les entreprises acceptent des pourcentages allant jusqu'à 40% en bonus et 20% en malus.

## 5. Le cas particulier des avoisinants

Les avoisinants situés dans la zone d'influence géotechnique du projet (ZIG) font l'objet d'une enquête de sensibilité généralement réalisée par un assistant au maître d'ouvrage (AMO) qui intervient à côté du maître d'œuvre. Cette enquête est synthétisée dans un mémoire de sensibilité des avoisinants qui sont classés en trois catégories : très sensible, sensible et peu sensible.

Trois classes de dommages (CD) aux avoisinants sont considérées :

- CD 1 : dommages architecturaux (fissures millimétriques facilement réparables, frottement des portes ou fenêtres),
- CD 2 : dommages fonctionnels (fissures pluri-millimétriques pouvant affecter des éléments structuraux, coincement des portes ou fenêtres, fonctionnalité de la construction réduite),
- CD 3 : dommages structurels (dégradation des éléments structuraux principaux avec reconstruction partielle ou totale nécessaire).

L'AMO définit, en fonction de la sensibilité de l'avoisinant, les seuils d'apparition de dommage pour chaque CD en termes de tassement absolu (tableau 1), de tassement différentiel relatif (tableau 2) et de déformation horizontale relative (tableau 3). Le choix du type de dommage acceptable par le maître d'ouvrage est un choix économique : la réparation d'un dommage peut coûter bien moins chère que la mesure préventive pour l'éviter, à condition bien sûr qu'il n'y ait pas de mise en danger d'une personne. Usuellement, le maître d'ouvrage accepte le risque d'un dommage CD 1 pour ne pas trop alourdir les mesures préventives spécifiques à mettre en œuvre au droit des bâtis : ce choix permet d'éviter les améliorations de terrains d'assise voire le renforcement des structures, à ne conserver que pour les avoisinants considérées comme très sensibles et avec un fort potentiel d'endommagement en fonction de l'impact estimé des travaux. Les seuils contractuels  $Sc$  à ne pas dépasser sont alors les seuils d'apparition des dommages fonctionnels CD 2.

Tableau 1. Exemple de seuils d'apparition de dommage pour le tassement absolu

Valeurs en mm	Avoisinant peu sensible	Avoisinant sensible	Avoisinant très sensible
CD 1	< 25	< 20	< 10
CD 2	25 à 40	20 à 30	10 20
CD 3	> 40	> 30	> 20

Tableau 2. Exemple de seuils d'apparition de dommage pour le tassement différentiel relatif

Valeurs en ‰	Avoisinant peu sensible	Avoisinant sensible	Avoisinant très sensible
CD 1	< 1,5	< 1	< 0,5
CD 2	1,5 à 3	1 à 2	0,5 à 1
CD 3	> 3	> 2	> 1

Tableau 3. Exemple de seuils d'apparition de dommage pour la déformation horizontale relative

Valeurs en ‰	Avoisinant peu sensible	Avoisinant sensible	Avoisinant très sensible
CD 1	< 0,8	< 0,6	< 0,4
CD 2	0,8 à 1,6	0,6 à 1,2	0,4 à 0,8
CD 3	> 1,6	> 1,2	> 0,8

Le potentiel d'endommagement de chaque avoisinant situé dans la ZIG est à évaluer (AFTES GT16, 2018). Pour cela, le maître d'œuvre estime l'impact du projet sur le massif d'assise de l'avoisinant  $I_p$  (tassement absolu, tassement différentiel, élongation horizontale). C'est en comparant  $S_c$  et  $I_p$  que le potentiel d'endommagement de l'avoisinant est estimé et les éventuelles mesures préventives définies. L' $I_p$  est validé ou adapté par l'entreprise lors des études d'exécution

Pour éviter les réclamations « abusives » des occupants des avoisinants, il est recommandé de faire réaliser soit des constats d'huissier soit des référés constats préventifs avant tous travaux. Toutefois, pour limiter le coût et le temps passé consacrés à ces procédures, il est conseillé de les réserver aux avoisinants au potentiel d'endommagement moyen (constats d'huissier) ou élevé (référé préventif). Ces procédures doivent concerner aussi bien les parties communes que les parties privatives.

A titre d'exemple :

- Si  $I_p/S_c < 0.5$  : potentiel faible induisant un suivi classique du creusement et de l'avoisinant, sans constat d'huissier préalable,
- Si  $0.5 < I_p/S_c < 0.75$  : potentiel moyen induisant un suivi renforcé du creusement et de l'avoisinant, avec un constat d'huissier préalable,
- Si  $0.75 < I_p/S_c < 1$  : potentiel élevé nécessitant des conditions de creusement spécifiques et une auscultation renforcée de l'avoisinant, avec un référé constat préalable,
- Si  $I_p/S_c > 1$  : potentiel inacceptable nécessitant une adaptation de la méthode de creusement et/ou un renforcement de l'avoisinant pour réduire sa sensibilité.

La prise en charge du risque est alors bien définie pour chaque avoisinant : si  $S_c$  n'est pas dépassé lors des travaux, tout dommage survenu est à la charge du maître d'ouvrage mais si  $S_c$  est dépassé, il est alors à la charge de l'entreprise.

Les seuils contractuels ainsi définis permettent de préciser les conditions de réalisation des travaux. Il est généralement défini plusieurs seuils de pilotage du chantier :

- Le seuil de vigilance, seuil au-delà duquel l'entreprise doit renforcer sa vigilance vis-à-vis du pilotage du chantier et vis-à-vis de l'avoisinant : usuellement, il est calé à 60% du seuil contractuel et 80% de l'impact prévisionnel  $I_p$ ,
- Le seuil d'alerte, seuil au-delà duquel l'entreprise doit prendre des mesures immédiates pour garantir la sécurité des personnes et préserver l'intégrité de l'avoisinant : usuellement, il est calé à 80% du seuil contractuel et 100% de l'impact prévisionnel  $I_p$ ,
- Le seuil d'urgence, seuil déclenchant l'évacuation de l'avoisinant et la mise en œuvre de mesures de sauvegarde : usuellement, il est calé au seuil contractuel.

## 6. Répartition des risques entre les acteurs de la construction et leurs assureurs

Chaque acteur de la construction souscrit des polices d'assurances pour couvrir les risques liés à ses responsabilités en cas de survenance d'un sinistre. Il y a lieu de distinguer 2 types de responsabilités :

- La responsabilité légale liée à la garantie décennale (RCD), couverte par l'assurance décennale obligatoire pour les ouvrages soumis à cette obligation (principalement les bâtiments non industriels) et l'assurance décennale relative aux ouvrages non soumis (principalement les ouvrages de génie civil),

- Les responsabilités contractuelles et délictuelles, couvertes par les assurances « responsabilité civile professionnelle » (RCP) et « responsabilité civile exploitation » (RCE).

La présente gestion des risques concerne principalement la phase conception et la phase travaux (avant réception de l'ouvrage), donc peut mettre en jeu les responsabilités RCP et RCE de chaque acteur. Destinée à réduire les risques, cette démarche devrait permettre d'obtenir auprès des assureurs des conditions tarifaires moins onéreuses.

Le maître d'ouvrage met en place, pour le compte de tous les acteurs de la construction (donc sans recours), une assurance « Tous Risques Chantier » (TRC) qui couvre les dommages à l'ouvrage pendant sa construction, avec application d'une franchise afin de limiter son intervention aux sinistres d'une certaine importance. Il peut être souscrit une extension de garantie aux tiers (les avoisinants et le voisinage), mais cette extension est rarement souscrite.

Vis-à-vis des dommages aux tiers, le maître d'ouvrage, qui est généralement le premier mis en cause, souscrit une assurance RCP qui exercera son recours auprès des constructeurs, eux-mêmes étant couverts par une assurance RCP.

L'interface entre la gestion des risques et les polices d'assurances peut devenir très complexe et paralysante lors de la survenance d'un sinistre affectant un tiers. En effet, l'assurance RCP de chaque acteur de la construction est alors mobilisée, rendant la gestion du sinistre très lourde avec l'intervention des experts d'assurance.

Pour faciliter cette gestion des sinistres vis-à-vis des tiers et ne faire intervenir les assurances que sur des sinistres importants, la franchise de l'assurance RCP du maître d'ouvrage doit être suffisamment élevée (entre 50.000 et 100.000 €), ce qui lui permet par ailleurs d'obtenir des conditions tarifaires plus intéressantes. Seule la gestion des risques mise en place pour le chantier interviendra alors dans la majorité des cas, sans l'intervention d'experts d'assurance : cette procédure doit être actée dans le contrat de travaux de l'entreprise.

## **7. Les axes d'amélioration pour une meilleure gestion des risques**

Trois axes d'amélioration sont à explorer.

Le premier axe concerne les investigations préalables pour définir le contexte géotechnique du site et l'état des avoisinants. Il faut disposer de suffisamment de temps pour réaliser ces investigations en plusieurs phases successives afin de réduire les incertitudes à un niveau acceptable pour le projet. Il est indispensable d'assurer une bonne synchronisation entre le maître d'œuvre et l'ingénierie en charge des missions géotechniques (SYNTEC-INGENIERIE 2014 et 2015). Les techniques d'investigation s'améliorent lentement mais les utiliser à bon escient constitue déjà un point fort dans la gestion des risques.

Le deuxième axe concerne les techniques de creusement et de soutènement mises en œuvre. Elles doivent tenir compte des incertitudes restantes afin que les éventuelles mesures correctives (adaptation des méthodes) puissent être mises en œuvre sans bouleversement du marché de travaux.

Le troisième axe concerne les techniques d'auscultation du terrain et des avoisinants qui permettent soit de s'assurer que leur comportement est conforme aux prévisions soit de détecter rapidement tout écart afin de mettre en œuvre les mesures correctives prédéfinies. L'amélioration n'est pas à rechercher principalement dans la conception de nouveaux capteurs mais plutôt dans l'automatisation des mesures, leur télétransmission

et leur télétraitement. Certes la photo numérique, l'imagerie satellitaire, l'interférométrie radar améliorent grandement la surveillance, mais il faut bien maîtriser la complexité croissante de gestion de ces systèmes de mesure : très grand nombre de points de mesure, faible standardisation, accès multiples à distance, plannings serrés. De nouvelles tâches sont à assurer par du personnel multi-qualifié : gestion des systèmes de mesure, administration de bases de données, de réseaux, enregistrement, transmission et archivage de grandes quantités de données, contrôles, maintenance, réparation des systèmes de mesure, traitements complexes et interprétations en liaison avec le concepteur et le maître d'œuvre. Toutes ces tâches ont un impact significatif sur le respect des délais contractuels de validation, de traitement, et d'édition des résultats de mesures et sur la qualité des diagnostics et interprétations qui sont les objectifs de toute auscultation.

## **8. Conclusions**

La gestion des risques constitue bien un atout majeur de la conception puis de la construction des infrastructures. Elle permet en premier lieu de finaliser pour le projet une conception robuste tenant compte des incertitudes restantes concernant principalement le contexte géotechnique du site et les avoisinants : elle ne doit surtout pas être utilisée pour une optimisation du projet au détriment d'une aggravation des incertitudes et des risques associés. En phase réalisation, l'entreprise doit s'approprier cette gestion des risques mise en place afin que s'instaure un partenariat entre tous les acteurs de la construction, condition nécessaire à la réussite du projet sous l'angle sécurité des personnes, qualité, coût et délai de réalisation.

Une attention particulière doit être portée aux avoisinants car ils peuvent être à l'origine de nombreuses difficultés énergivores pouvant conduire à des dépassements de délai et de coût, tout en ternissant l'image du projet aux yeux des riverains.

## **9. Références**

Norme NF P94-500 (2013). Missions d'ingénierie géotechnique.

SYNTEC-INGENIERIE (2014). Synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique et de maîtrise d'œuvre pour la construction d'infrastructures.

SYNTEC-INGENIERIE (2015). Synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique et de maîtrise d'œuvre pour la construction de bâtiments.

SYNTEC-INGENIERIE (2016). Recommandations sur la consistance des investigations géotechniques pour les études géotechniques de conception (G2).

AFTES GT16 (2018). Prise en compte des effets induits par le creusement sur les constructions avoisinantes dans la conception et la réalisation des ouvrages souterrains. Tunnels & Espace souterrain juin 2018