

IMGC

LES INFRASTRUCTURES DU GRAND PARIS ET EOLE :

la gestion des interactions avec l'existant

Journée Technique
Jeudi 27 septembre 2018
Amphithéâtre AUGUSTE BRULÉ



Recommandation AFTES sur l'effet des tassements et des vibrations sur les avoisinants

Didier SUBRIN
Centre d'études des tunnels (CETU)

Sommaire

Recommandation AFTES GT16R2F1 (2018)

1. Objet et limites de la recommandation

2. Terminologie adoptée et définitions

3. Prise en compte des constructions avoisinantes
   - 3.1. Stratégie vis-à-vis des constructions avoisinantes
   - 3.2. Missions des intervenants
   - 3.3. Communication envers les riverains
   - 3.4. Approche assurantielle
   - 3.5. Démarche proposée pour les études techniques

4. Mouvements induits par le creusement
   - 4.1. Description des phénomènes
   - 4.2. Déroulement de la démarche/tassements
   - 4.3. Traitement et mesures de réduction des impacts

5. Vibrations mécaniques induites

6. Annexes



Sommaire

Recommandation AFTES GT16R2F1 (2018)

1. Objet et limites de la recommandation

2. Terminologie adoptée et définitions

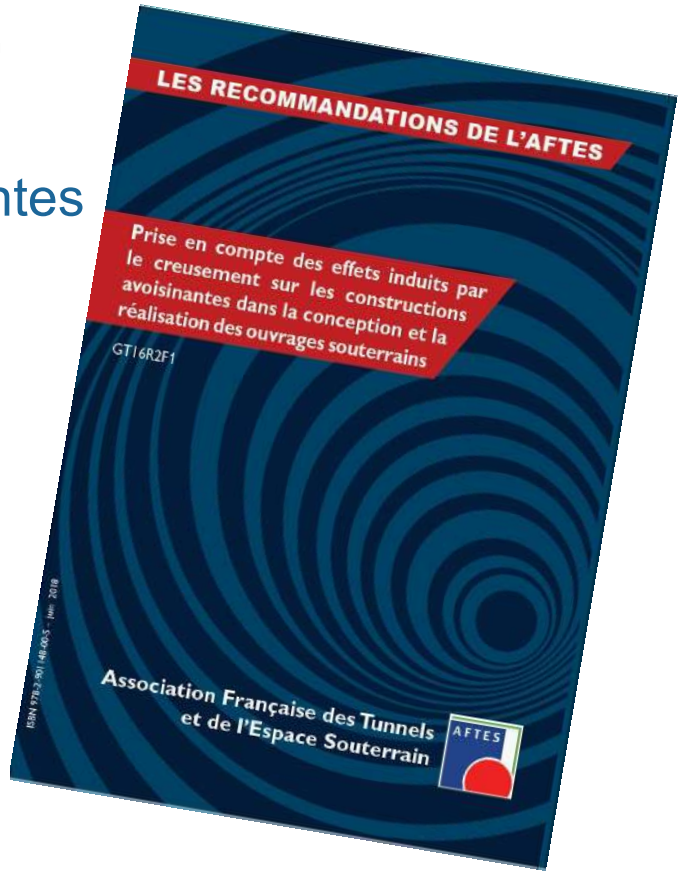
1

3. Prise en compte des constructions avoisinantes
   - 3.1. Stratégie vis-à-vis des constructions avoisinantes
   - 3.2. Missions des intervenants
   - 3.3. Communication envers les riverains
   - 3.4. Approche assurantielle
   - 3.5. Démarche proposée pour les études techniques

4. Mouvements induits par le creusement
   - 4.1. Description des phénomènes
   - 4.2. Déroulement de la démarche/tassements
   - 4.3. Traitement et mesures de réduction des impacts

5. Vibrations mécaniques induites

6. Annexes



Sommaire

Recommandation AFTES GT16R2F1 (2018)

1. Objet et limites de la recommandation

2. Terminologie adoptée et définitions

1

3. Prise en compte des constructions avoisinantes

- 3.1. Stratégie vis-à-vis des constructions avoisinantes
- 3.2. Missions des intervenants
- 3.3. Communication envers les riverains
- 3.4. Approche assurantielle
- 3.5. Démarche proposée pour les études techniques

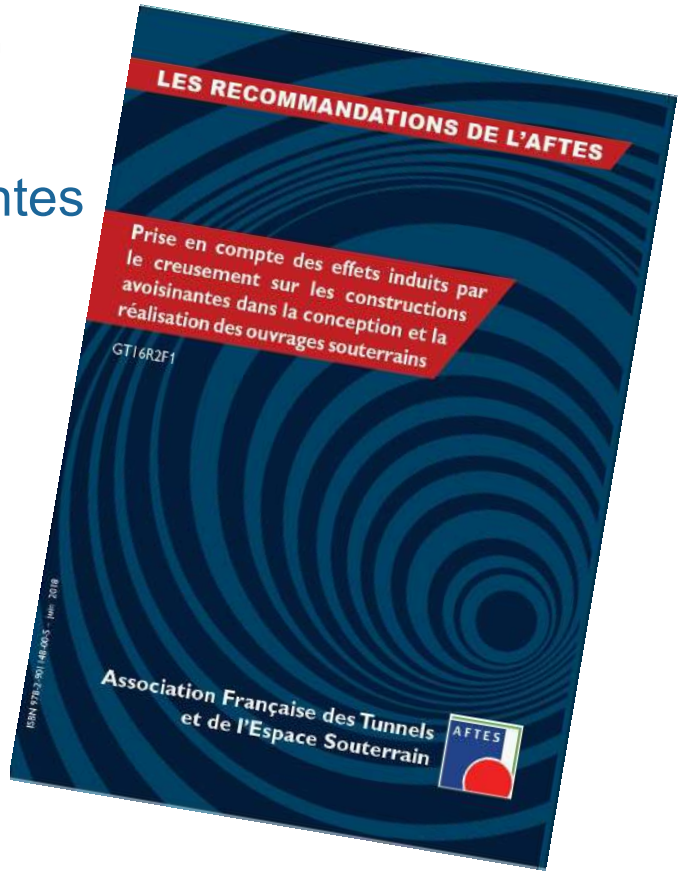
2

4. Mouvements induits par le creusement

- 4.1. Description des phénomènes
- 4.2. Déroulement de la démarche/tassements
- 4.3. Traitement et mesures de réduction des impacts

5. Vibrations mécaniques induites

6. Annexes



Sommaire

Recommandation AFTES GT16R2F1 (2018)

1. Objet et limites de la recommandation

2. Terminologie adoptée et définitions

1

3. Prise en compte des constructions avoisinantes

3.1. Stratégie vis-à-vis des constructions avoisinantes

3.2. Missions des intervenants

3.3. Communication envers les riverains

3.4. Approche assurantielle

3.5. Démarche proposée pour les études techniques

3

2

4. Mouvements induits par le creusement

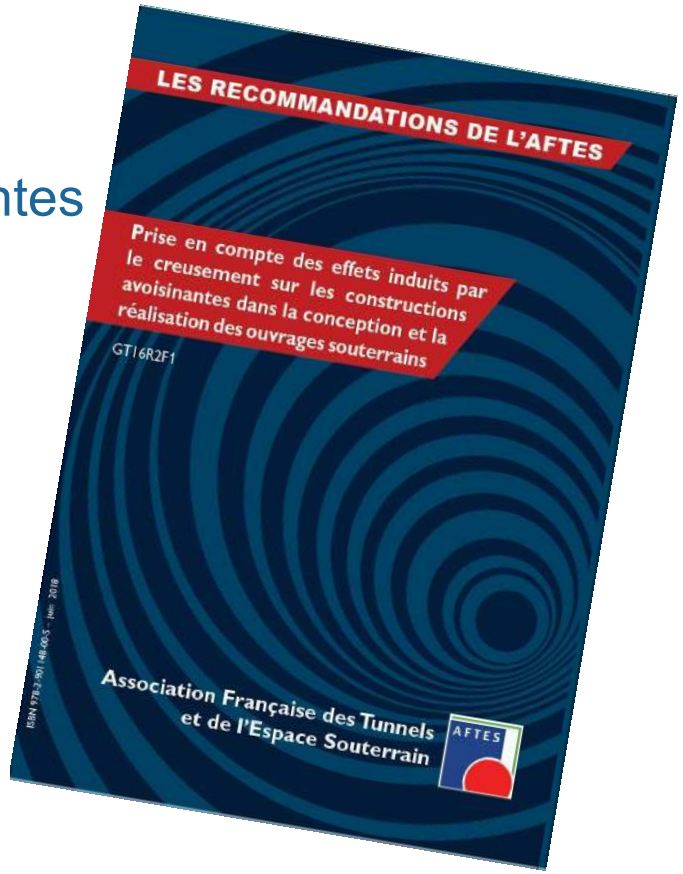
4.1. Description des phénomènes

4.2. Déroulement de la démarche/tassements

4.3. Traitement et mesures de réduction des impacts

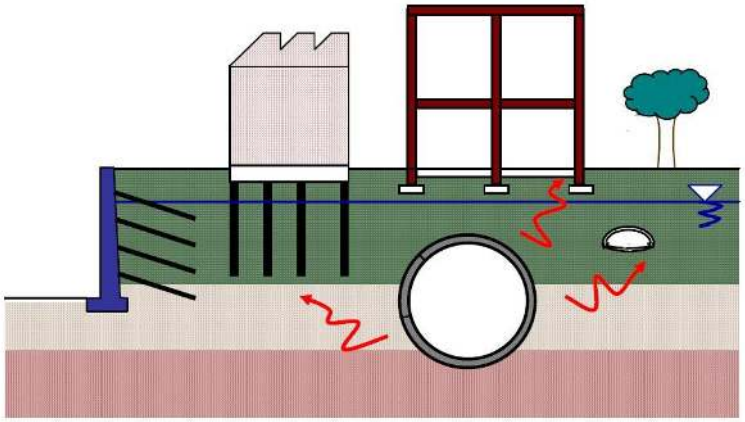
5. Vibrations mécaniques induites

6. Annexes

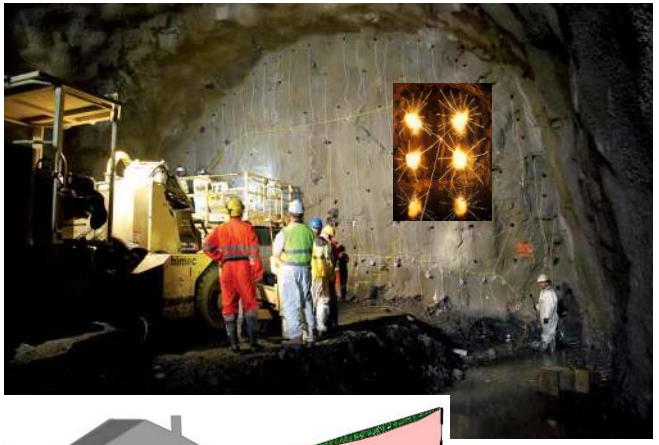


Terminologie

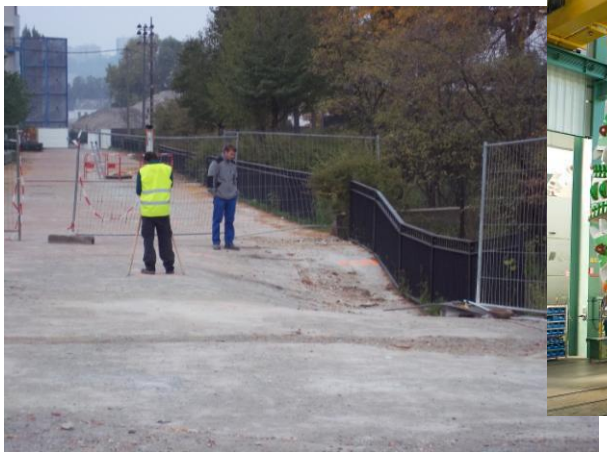
Sollicitations mécaniques



Vibrations induites

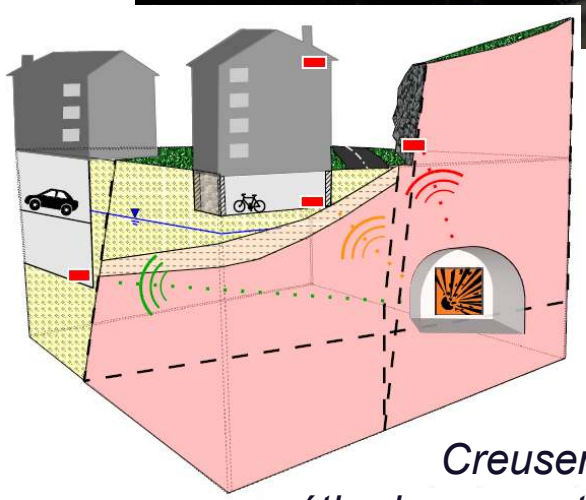


Mouvements induits





Creusement au tunnelier



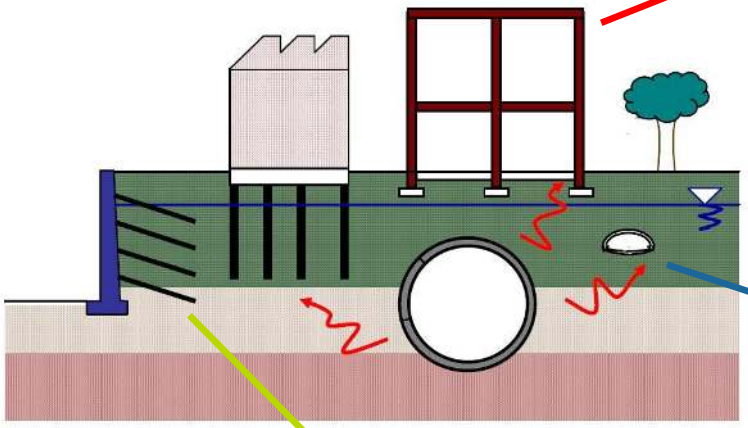
Creusement en méthode conventionnelle

Terminologie

Constructions avoisinantes



Bâtiments



Réseaux aériens ou enterrés

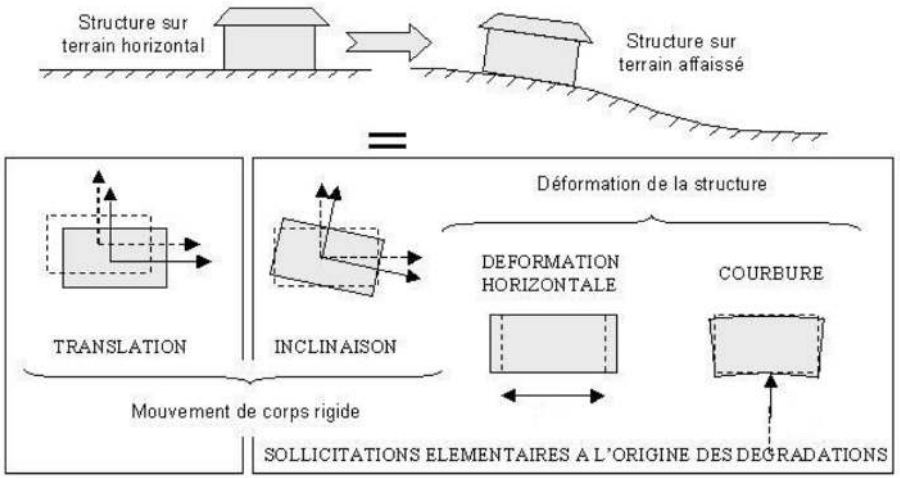


Ouvrages de Génie Civil



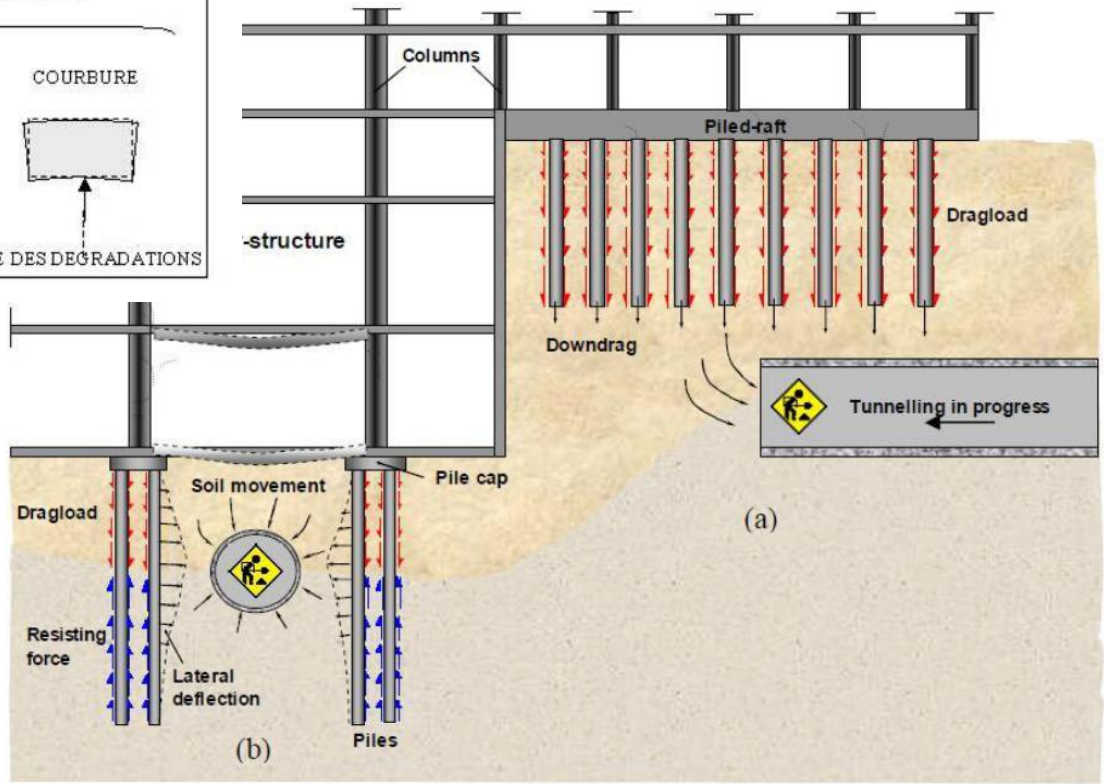
Terminologie

Mouvements induits sur les bâtiments



Impacts sur des bâtiments fondés superficiellement

Impacts sur des fondations profondes



Terminologie

Effets induits sur les constructions avoisinantes

- Les effets induits sont caractérisés par différents niveaux de dommages :

Architecturaux < **ELS** Fonctionnels < **ELU** Structurels

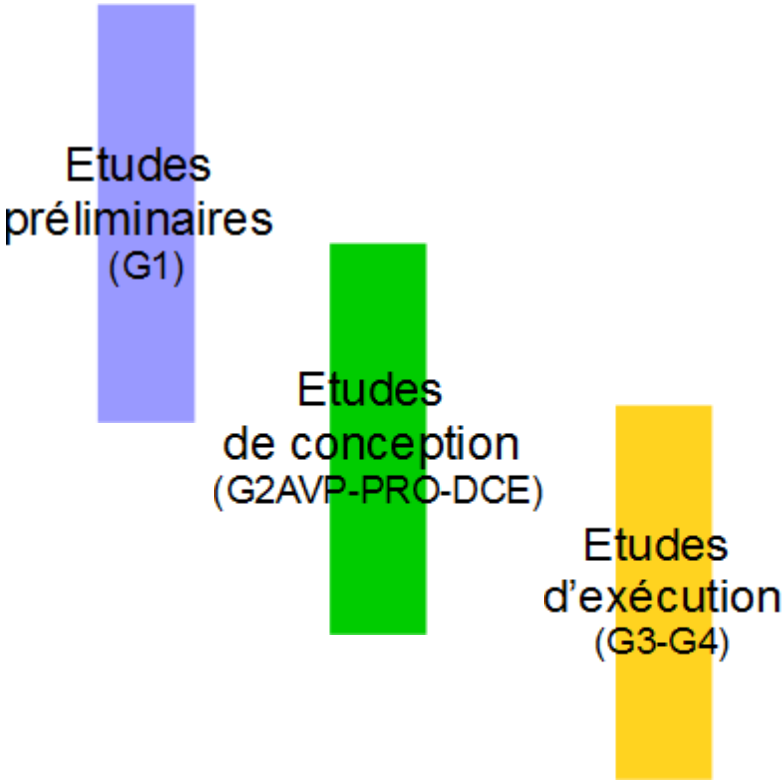
- Le **niveau de dommage potentiel** est obtenu par croisement :
  - de la **sensibilité intrinsèque** des constructions qui dépend de leur géométrie, de leur structure, de leurs matériaux constitutifs et de l'état de dégradation pré-existant ;
  - des **mouvements de terrain** qui dépendent de la profondeur du tunnel et de sa section transversale, de la déformabilité et de l'état de contrainte initial dans le terrain, de la qualité de mise en œuvre des soutènements, ...

  avec des phénomènes d'**interaction terrain/structure**

Maîtrise des effets induits

des études aux travaux

Etapes techniques successives		
(1) détermination des **effets directs** du creusement	(2) de la caractérisation de l'**état initial** à la définition des **seuils admissibles**	(3) évaluation du **potentiel de dommages** des constructions et **mesures préventives**
(4) détermination des **seuils et principe de pilotage** (5) principe de **surveillance et auscultations**		
(6) auscultations et pilotage en **phase chantier**		



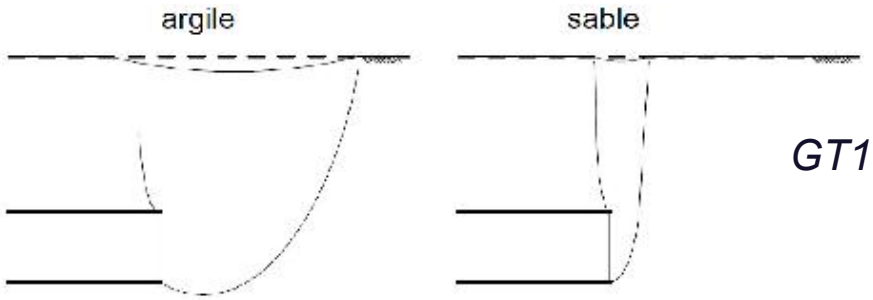
(1) Détermination des effets directs

Étude de la stabilité du front de taille



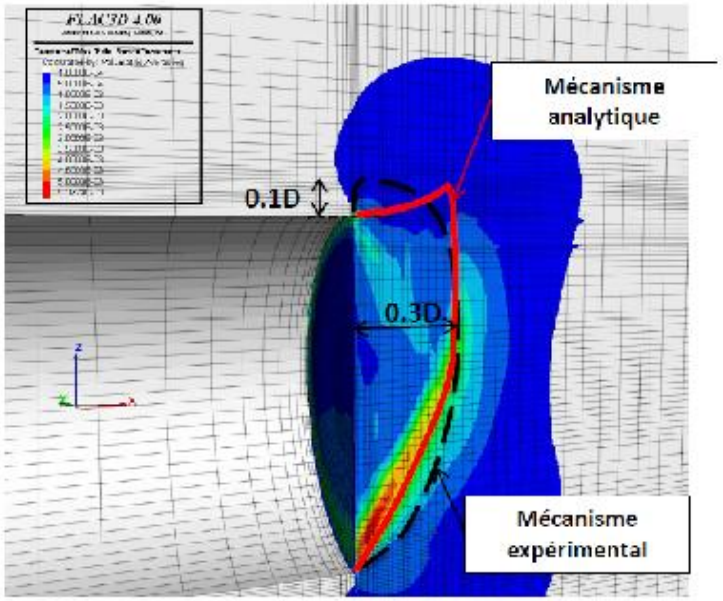


Effondrement sur le chantier METEOR (Ligne 14, CGPC 2003)



GT16R1F1 (1995)

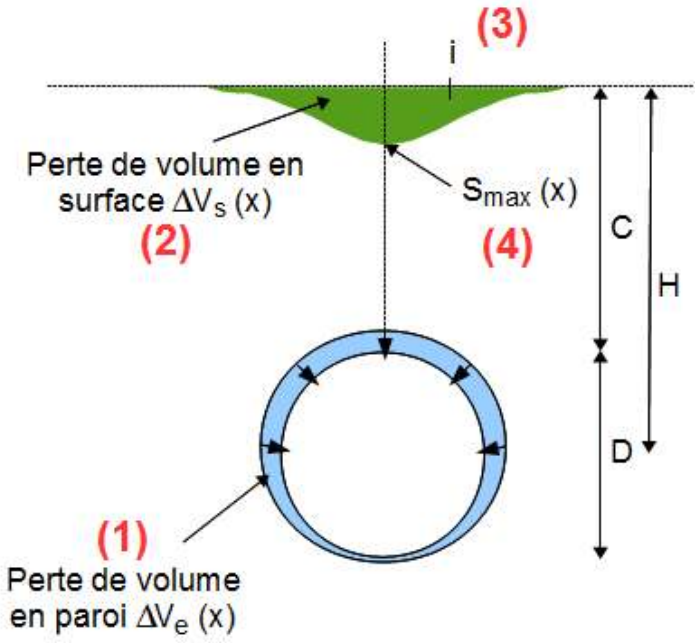
Géométrie des mécanismes de rupture par effondrement



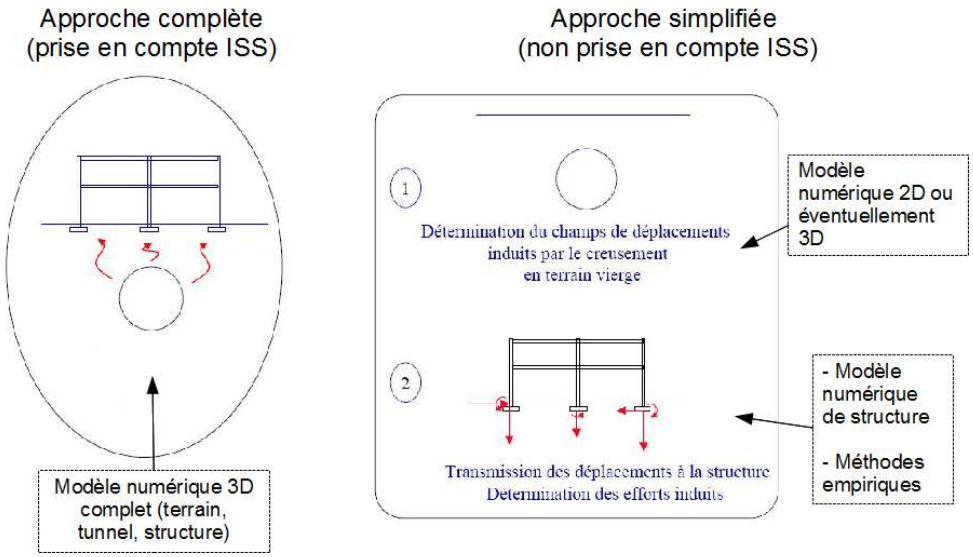
(1) Détermination des effets directs

Tassements par des méthodes empiriques et/ou numériques

Méthode des pertes de volume (Peck)

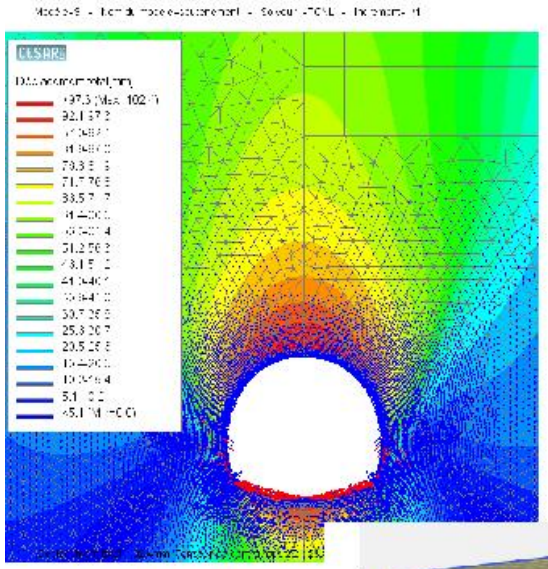


Méthode numériques avec/sans interaction

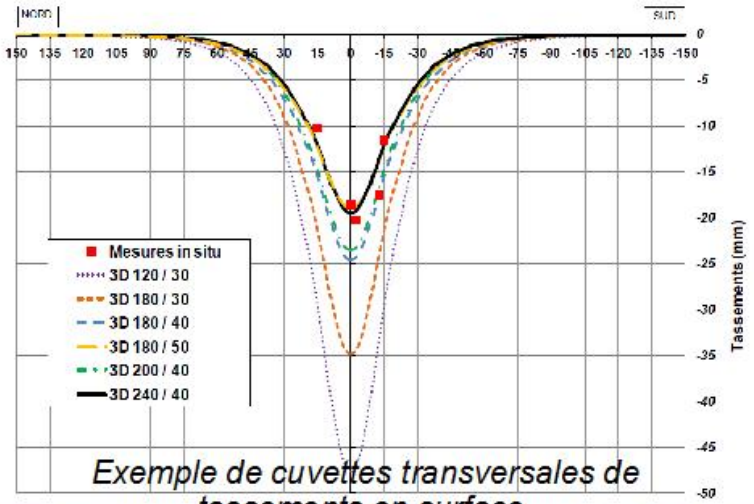


(1) Détermination des effets directs

Tassements par des méthodes numériques

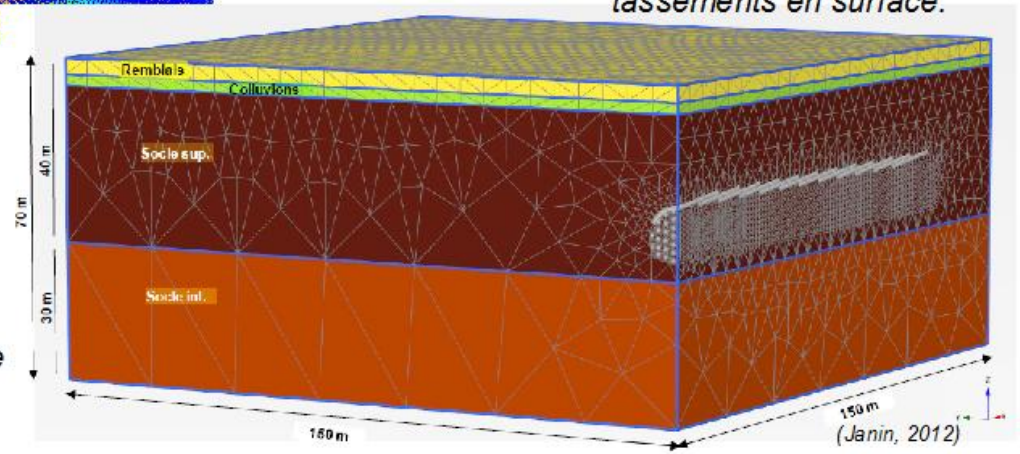


Exemple de calcul 2D



Exemple de cuvettes transversales de tassements en surface.

(Janin, 2012)



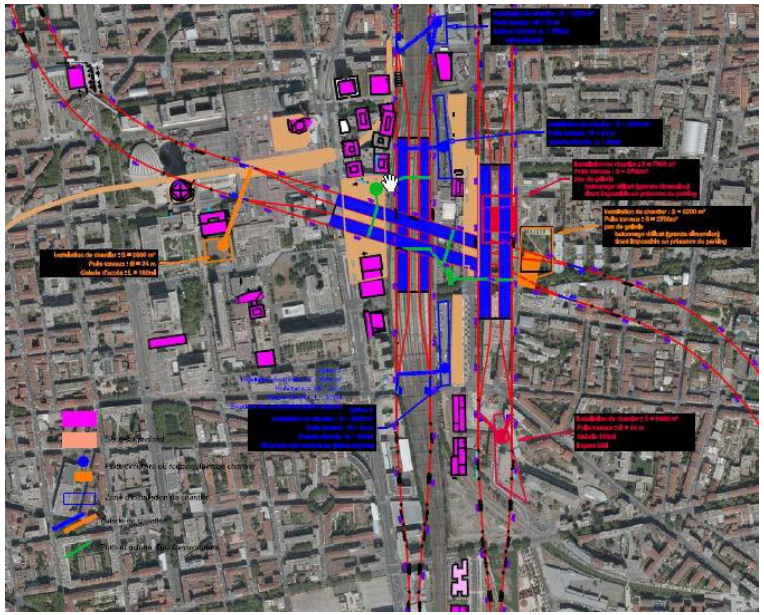
Exemple de calcul 3D

(Janin, 2012)

(2) Caractérisation de l'état initial

au stade des études préliminaires

- Pour établir la **faisabilité**, identification et localisation des constructions sur l'ensemble du fuseau d'étude :
  - les plus **contraignantes d'un point de vue technique ou administratif** (immeubles de grande hauteur, bâtiments classés, monuments historiques, avec équipements sensibles, …) ;
  - et/ou **géométriquement déterminantes** (fondations profondes, ouvrages souterrains, réseaux, …)

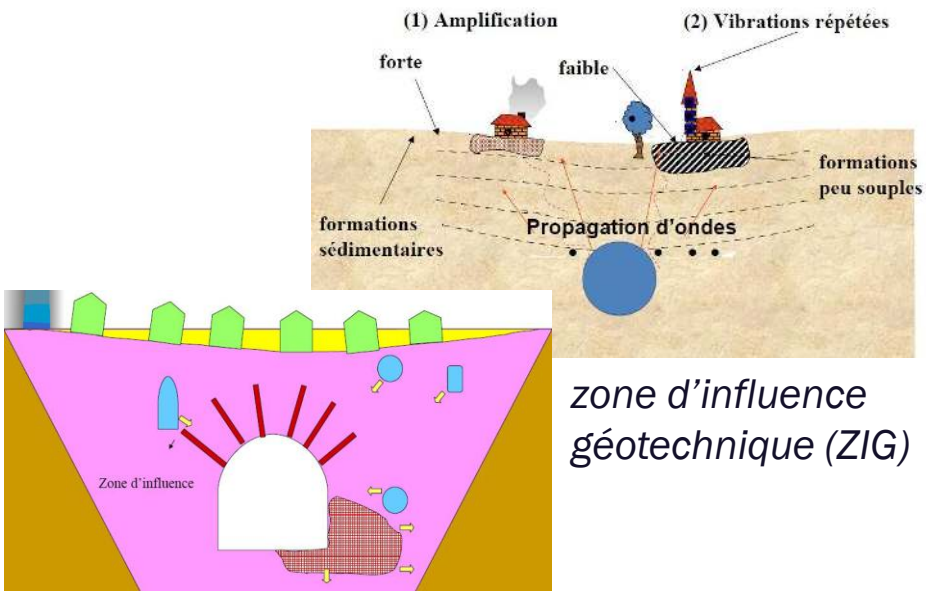


cartographie pour le projet de gare souterraine sous la Part-Dieu (NFL)

(2) Caractérisation de l'état initial

au stade de l'enquête d'utilité publique

- Pour identifier le **tracé préférentiel** (présenté à l'enquête) :
  - **inventaire** des constructions avoisinantes (bâtiments, ouvrages de Génie Civil, réseaux) dans la **zone d'influence géotechnique**
  - **enquête « bâti, caves et fondations » :** fiches d'identités caractérisant :
    - fonction du bâti
    - éléments géométriques
    - matériaux constitutifs
    - éléments de second œuvre
    - mode de fondation
    - état de dégradation

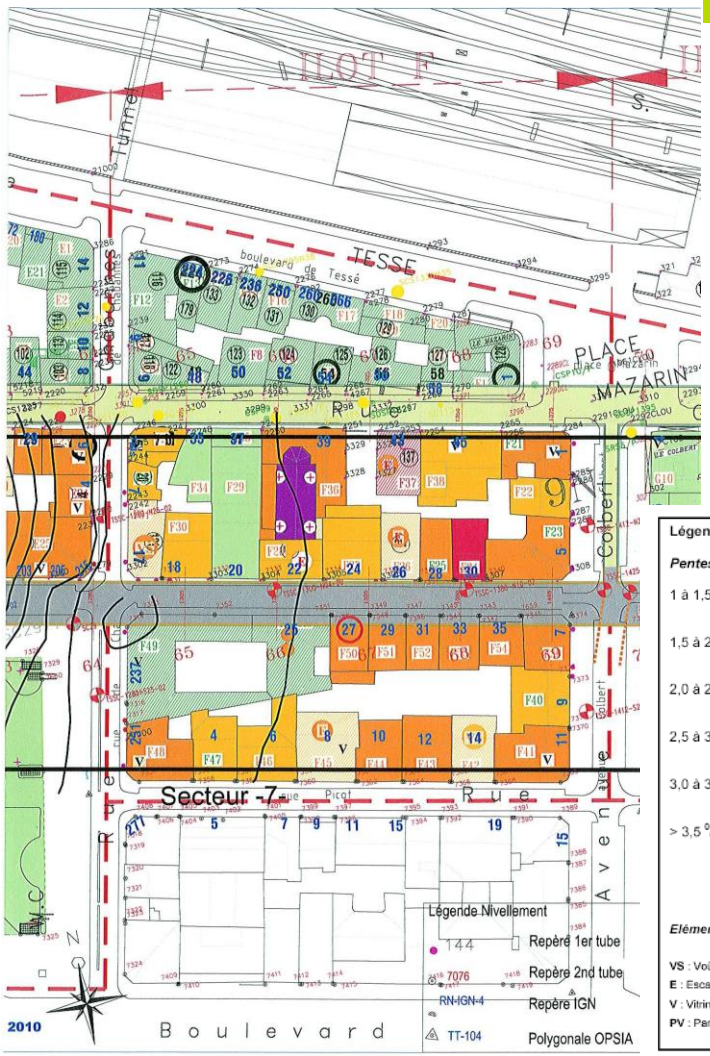


zone d'influence géotechnique (ZIG)

(2) Sensibilité intrinsèque des constructions

au stade des études de conception

- **Enquête détaillée :**
  investigations de terrain et diagnostics complémentaires
- **Fiches de sensibilité**
  seuils admissibles par niveau de dommages
- **Cartographie de la sensibilité**
  des constructions aux déplacements
- **Classement typologique**
  associé à un zonage géographique et géotechnique



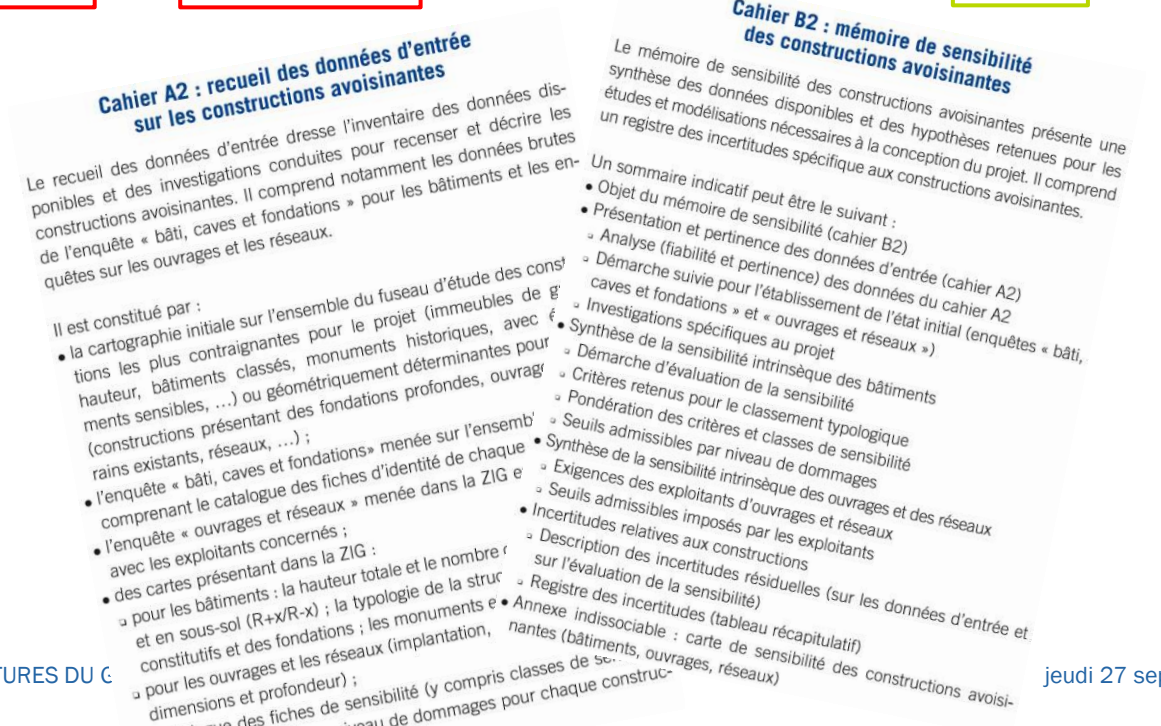
Source : Bureau Veritas

(2) Mémoire de sensibilité intrinsèque

Dossier des avoisinants (en vue du DCE)

dossier	données d'entrée	mémoire de synthèse	mémoire de conception	dossier de consultation
géotechnique	Cahier A1	Cahier B1	Cahier C	CCTP
avoisinants	Cahier A2	Cahier B2		PMR

en cohérence avec
F69 CCTG
GT25R3
GT32R3
GT43R1



Cahier A2 : recueil des données d'entrée sur les constructions avoisinantes

Le recueil des données d'entrée dresse l'inventaire des données disponibles et des investigations conduites pour recenser et décrire les constructions avoisinantes. Il comprend notamment les données brutes de l'enquête « bâti, caves et fondations » pour les bâtiments et les enquêtes sur les ouvrages et les réseaux.

Il est constitué par :
- la cartographie initiale sur l'ensemble du fuseau d'étude des cons
- tions les plus contraignantes pour le projet (immeubles de g
- hauteur, bâtiments classés, monuments historiques, avec é
- ments sensibles, ...) ou géométriquement déterminantes pour
- (constructions présentant des fondations profondes, ouvrag
- rains existants, réseaux, ...) ;
- l'enquête « bâti, caves et fondations» menée sur l'ensemb
- comprenant le catalogue des fiches d'identité de chaque
- l'enquête « ouvrages et réseaux » menée dans la ZIG e
- avec les exploitants concernés ;
- des cartes présentant dans la ZIG :
  - pour les bâtiments : la hauteur totale et le nombre
  - et en sous-sol (R+x/R-x) ; la typologie de la struc
  - constitutifs et des fondations ; les monuments e
  - pour les ouvrages et les réseaux (implantation,
  - dimensions et profondeur) ;
  - des fiches de sensibilité (y compris classes de se
  - au de dommages pour chaque construc-

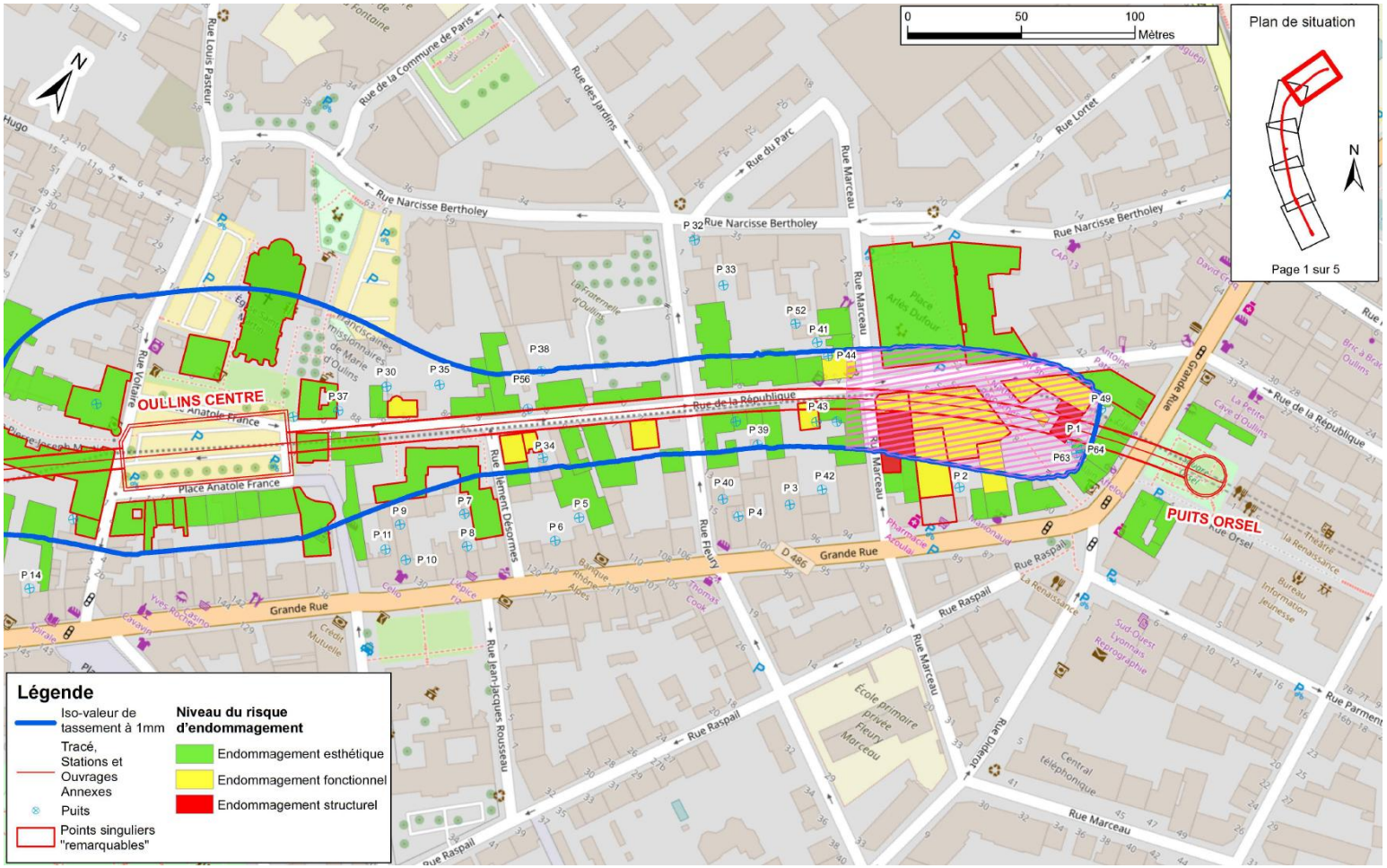
Cahier B2 : mémoire de sensibilité des constructions avoisinantes

Le mémoire de sensibilité des constructions avoisinantes présente une synthèse des données disponibles et des hypothèses retenues pour les études et modélisations nécessaires à la conception du projet. Il comprend un registre des incertitudes spécifique aux constructions avoisinantes.

Un sommaire indicatif peut être le suivant :
- Objet du mémoire de sensibilité (cahier B2)
- Présentation et pertinence des données d'entrée (cahier A2)
  - Analyse (fiabilité et pertinence) des données du cahier A2
  - Démarche suivie pour l'établissement de l'état initial (enquêtes « bâti, caves et fondations » et « ouvrages et réseaux »)
  - Investigations spécifiques au projet
- Synthèse de la sensibilité intrinsèque des bâtiments
  - Démarche d'évaluation de la sensibilité
  - Critères retenus pour le classement typologique
  - Pondération des critères et classes de sensibilité
  - Seuils admissibles par niveau de dommages
- Synthèse de la sensibilité intrinsèque des ouvrages et des réseaux
  - Exigences des exploitants d'ouvrages et réseaux
  - Seuils admissibles imposés par les exploitants
- Incertitudes relatives aux constructions
  - Description des incertitudes résiduelles (sur les données d'entrée et sur l'évaluation de la sensibilité)
  - Registre des incertitudes (tableau récapitulatif)
- Annexe indissociable : carte de sensibilité des constructions avoisinantes (bâtiments, ouvrages, réseaux)

(3) Evaluation du potentiel de dommages

Cartographie du risque d'endommagement

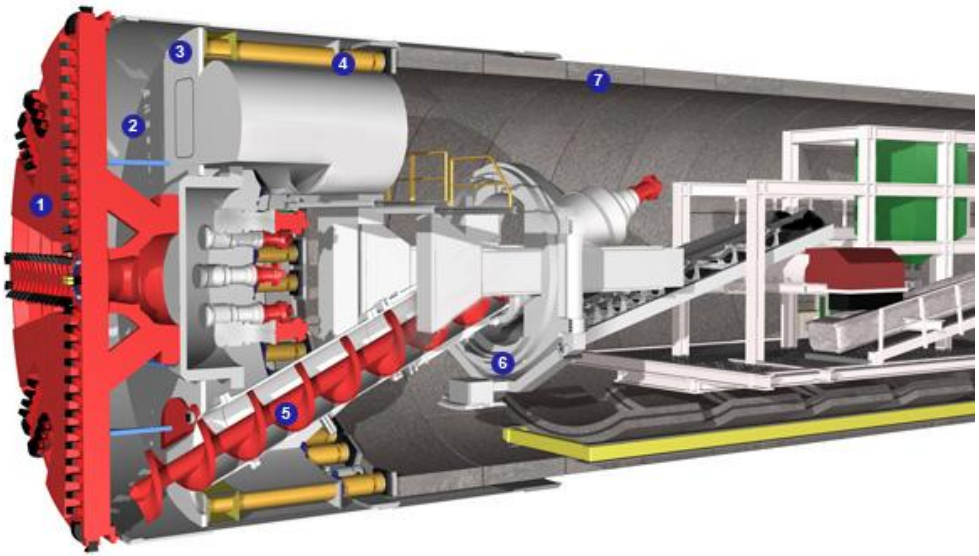


Prolongement Ligne B Métro, Lyon (SYTRAL)

(3) Mesures préventives

pour limiter les effets induits dans une démarche de management des risques techniques

- Adaptation du tracé en plan, approfondissement du profil en long
- Procédés de creusement-soutènement-revêtement (tunneliers pressurisés, présoutènements, …)



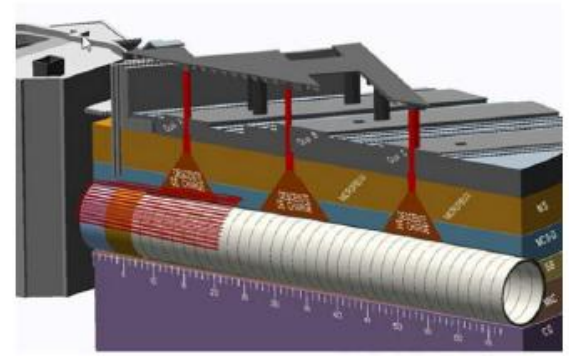


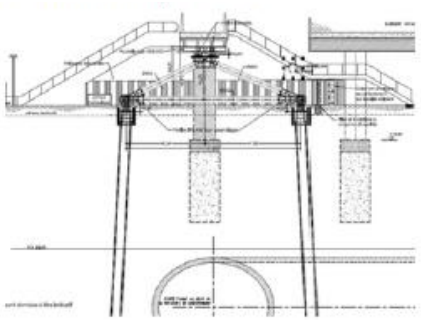
(3) Mesures préventives/correctives

pour limiter/corriger les effets induits dans une démarche de **management des risques techniques**

- Mesures de protection des avoisinants : mise en sécurité, renforcement structurel, confortement des terrains

Gare Viroflay-Rive-Gauche, Tramway T6, 2013







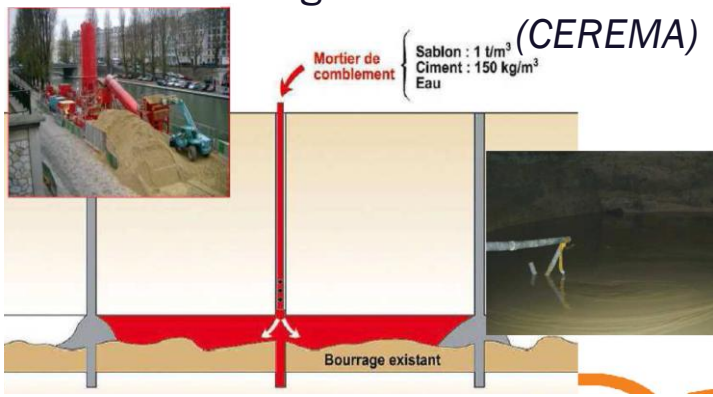




Chapelle Ste-Rita, Toulon, 2011

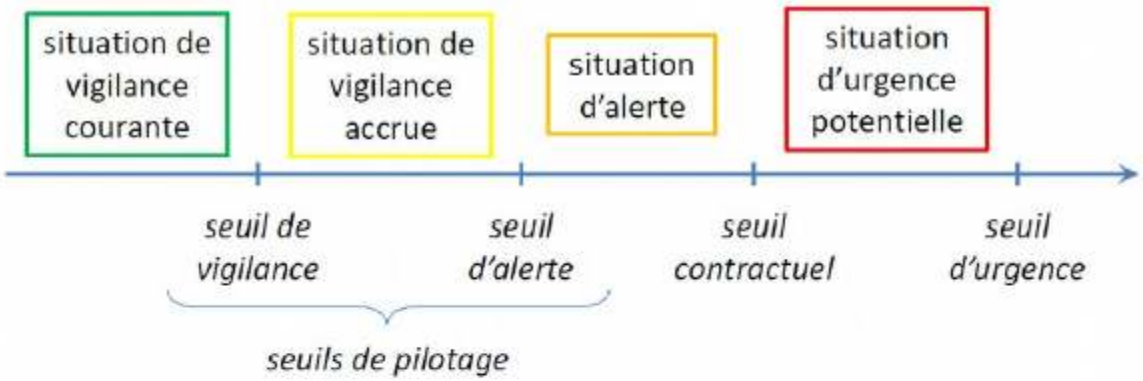


Comblement gravitaire de carrières (CEREMA)



(4) Seuils contractuels et de pilotage

Principe de pilotage



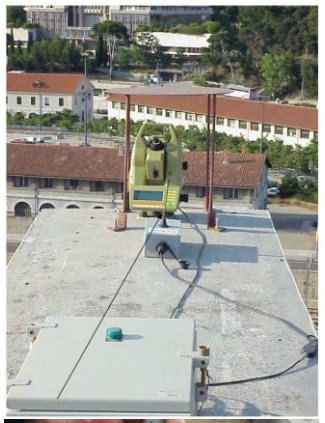
- **Seuil de vigilance :** contrôler l'approche du seuil d'alerte, faciliter l'interprétation du comportement observé
  → augmenter le nombre et la **fréquence** des mesures
- Seuil d'alerte : déplacement normalement attendu (**prédit** par les études)
  → analyser les écarts, mettre en place les dispositions prédéfinies pour limiter la poursuite des déplacements
- Seuil contractuel : déplacement **admis** par le MOA, prise en compte d'une marge de sécurité en raison de l'incertitude sur l'état des constructions
  → arrêt des travaux souterrains, analyse approfondie des mouvements, renforcement des constructions, modification importante des procédés, …
  = seuil de **responsabilité** de prise en charge des conséquences financières
- Seuil d'urgence : situation de danger avérée pour les constructions et/ou les personnes
  → arrêt du chantier, **évacuation**

(5) Principe de surveillance et auscultations

Objectifs et nature des mesures

- Les auscultations ont pour objectifs de :
  - détecter un comportement différent de celui anticipé pendant les études
  - consolider les modèles par rétro-analyse
  - déclencher les actions correctives à mettre en œuvre (en souterrain ou en surface)

- Nature des mesures à effectuer :
  - sur les constructions :
    - topographie du bâti
    - fissurométrie
    - inclinométrie
  - sur le terrain :
    - topographie de surface
    - inclinométrie
    - extensométrie
  - sur l'ouvrage :
    - convergence
    - extrusion
    - contraintes

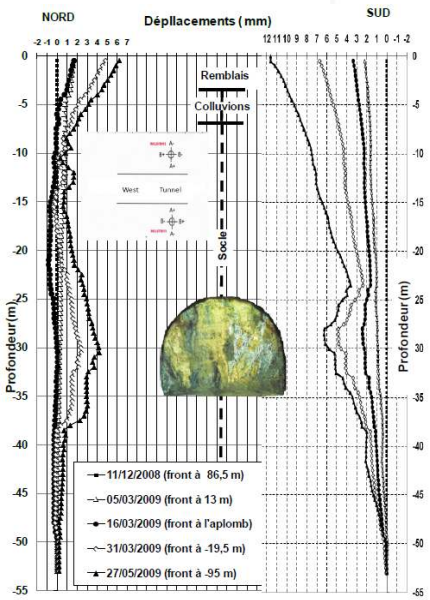


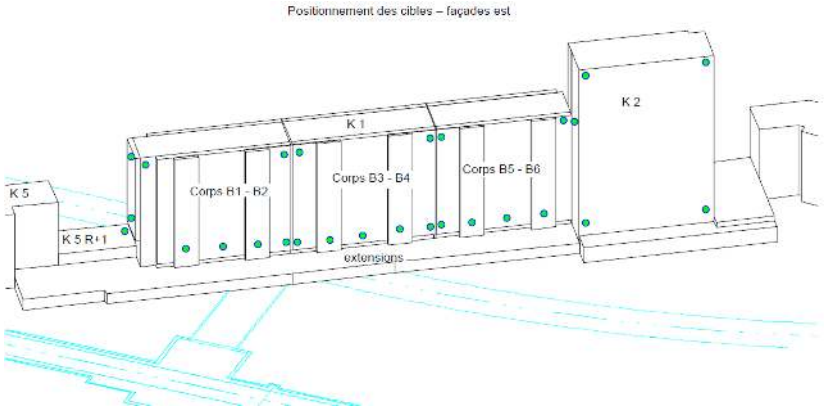
théodolite automatisé



extensomètre de forage



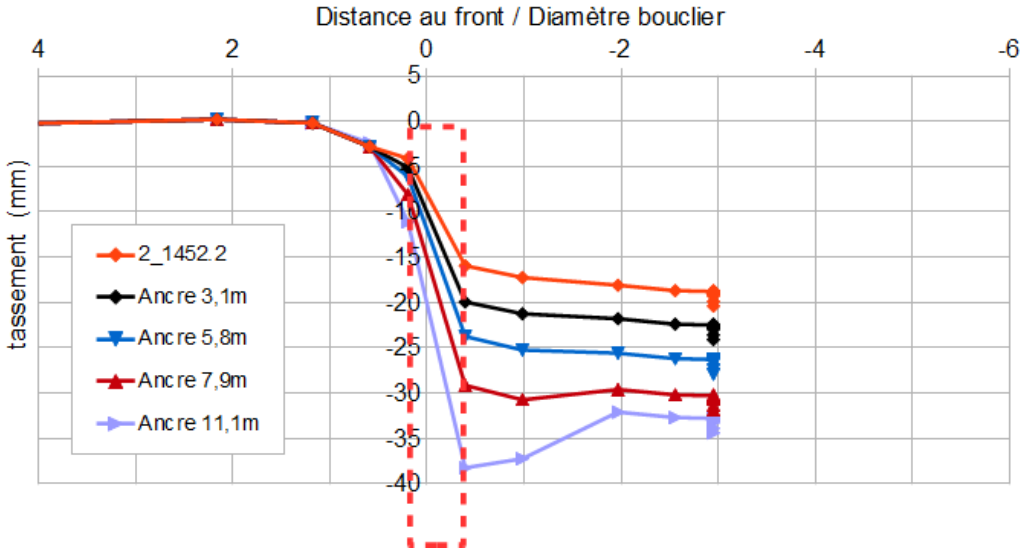




(5) Principe de surveillance et auscultations

Fréquence des mesures

- mesures renforcées (plusieurs fois par jour) dans une zone située entre un diamètre à l'avant et un diamètre à l'arrière du front de taille
- mesures hebdomadaires jusqu'à la stabilisation des déplacements
- mesures mensuelles jusqu'à la fin des travaux de génie civil

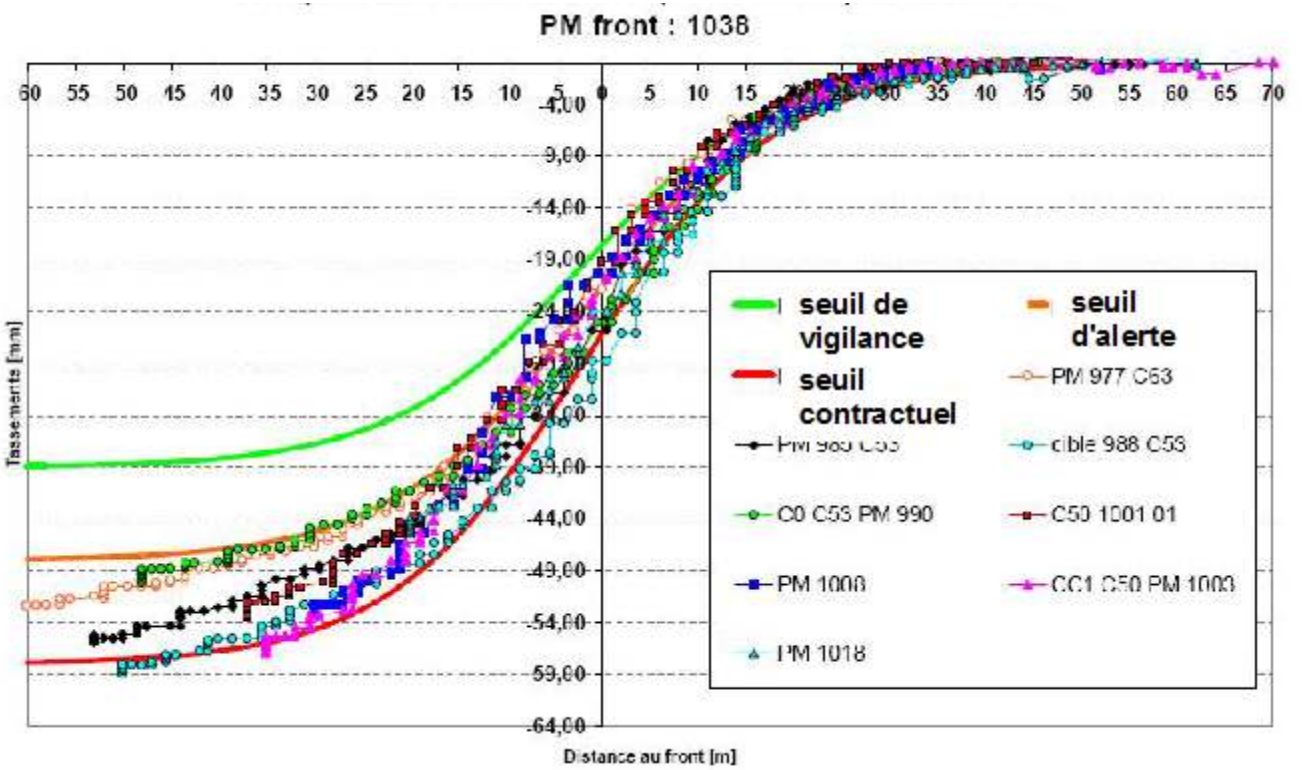


déplacements importants entre deux mesures distantes de 12h

(6) Auscultations et pilotage de chantier

Mise en œuvre du programme d'auscultations

Exemple de suivi des tassements de surface au dessus de l'axe du tunnel creusé en méthode conventionnelle (Toulon)



Nota : analyse des déplacements générés en fonction de leur distance au front de taille

➡ *Exploitation non triviale !*

Organisation et missions des intervenants

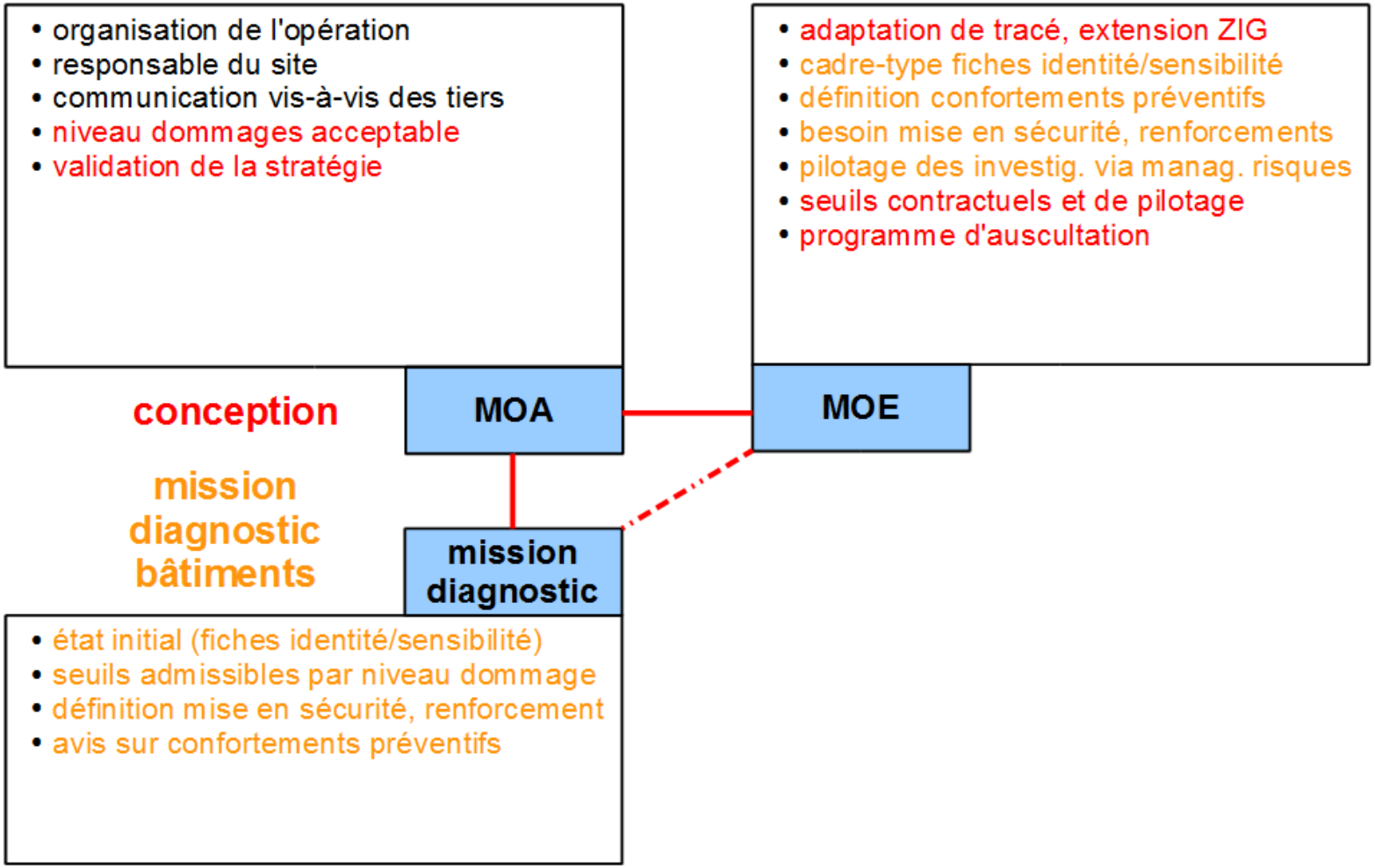
Compétences dans le diagnostic et les études de structures

- organisation de l'opération
- responsable du site
- communication vis-à-vis des tiers

MOA

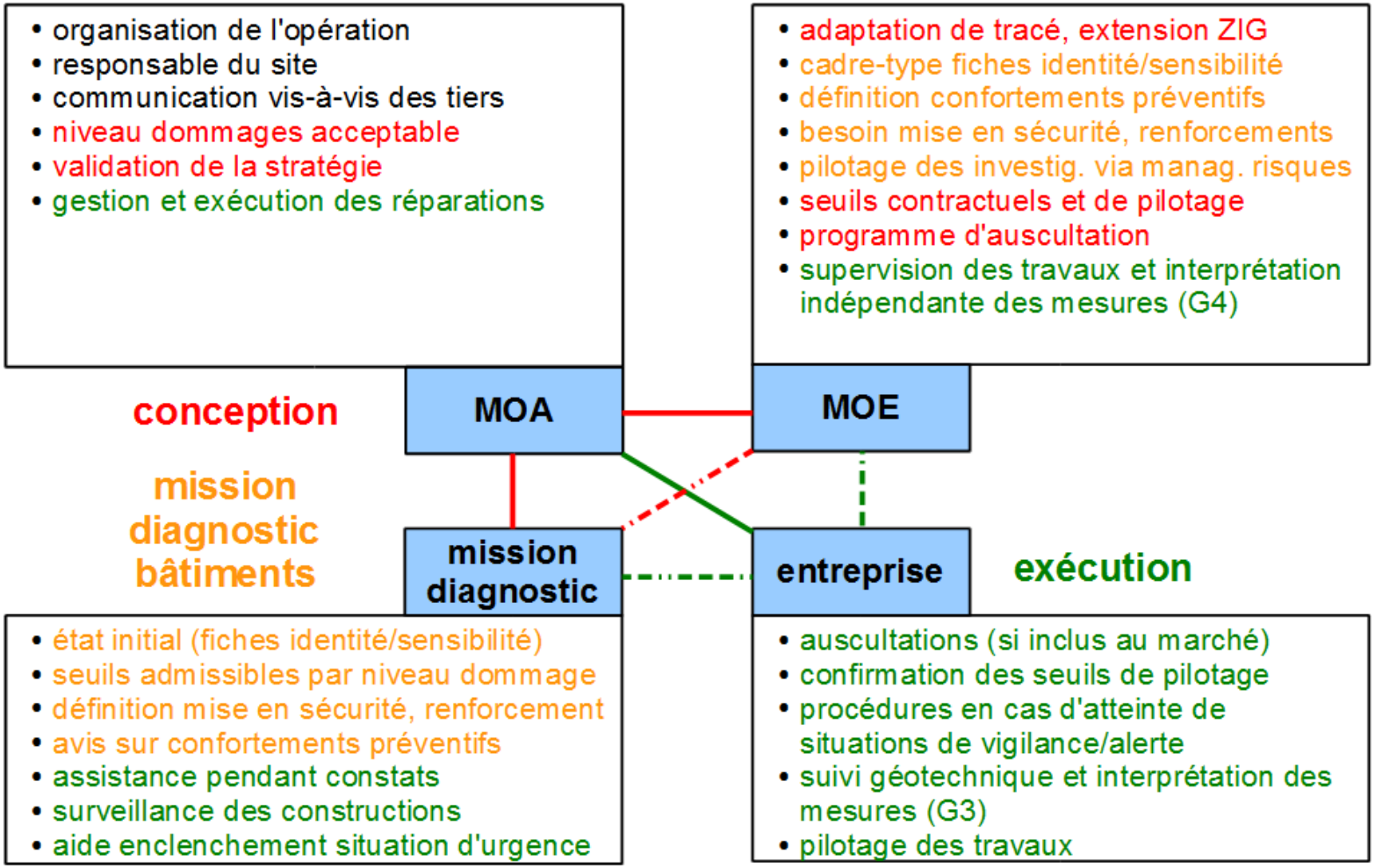
Organisation et missions des intervenants

Compétences dans le diagnostic et les études de structures



Organisation et missions des intervenants

Compétences dans le diagnostic et les études de structures



Conclusions

- Publication GT16R2F1 (juin 2018)
  - en complément de la recommandation GT16R1F1 (1995)
  - en cohérence avec F69 CCTG, GT25R3, GT32R3, GT43R1

Texte présenté par **Didier SUBRIN** (CETU), animateur du groupe de travail GT16,
assisté de **Elena CHIRIOTTI** (INCAS-Partners).

Ce document a été réalisé avec la collaboration de :

Marwan ALHEIB (INERIS), **Eric ANTOINET** (ANTEA), **Eric BENTZ** (MAPFRE GLOBAL RISKS),
Laurent BEREND (SETEC-TPI), **Martin BETH** (SIXENSE SOLDATA), **Christophe BLOUET** (SYSTRA),
Fabrice EMERIAULT (INPG), **Salah GHOZAYEL** (EGIS RAIL), **Thierry PANIGONI** (CETU),
Laurent PIERSON D'AUTREY (AXA CORPORATE SOLUTIONS), **Hervé THIEBAUT** (SETEC-TPI).

Sont à remercier pour leur participation à la relecture du document :

Guillaume ALIADIERE (SOCOTEC Infrastructure), **Yves BOZZI** (DEMATHIEU BARD), **Laurent CHASSAGNE** (RATP),
Michel DEFFAYET (CETU), **Xavier GRUZ** (SNCF Réseau), **Maurice GUILLAUD** (AFTES),
Rodolphe GUYON (SYTRAL), **Yann LEBLAIS** (ARCADIS), **Claude LOUIS** (Ingénieur Conseil),
Michel PRE (SETEC-TPI), **Patrick RAMOND** (RAZEL-BEC), **Alain-Alexandre ROBERT** (EGIS TUNNEL),
Michel ROIGNOT (SYTRAL), **Reza TAHERZADEH** (TRACTEBEL Engineering), **Loïc THEVENOT** (EIFFAGE).

Synthèse des recommandations

- Définir les rôles et les missions des acteurs
- Adopter avec les riverains une communication claire et compréhensible
- Définir un niveau de dommages acceptable spécifique pour chaque projet
- Conduire des enquêtes et des investigations de terrain détaillées pour estimer la sensibilité intrinsèque des bâtiments
- Conduire une approche itérative pour fixer les seuils contractuels : équilibre financier entre mesures préventives/correctives dans le cadre du management des risques
- Définir une procédure spécifique pour le pilotage des travaux dans le respect des seuils contractuels
- Rédiger des clauses dans les contrats de travaux pour la préservation des avoisinants (organisation requise, contrôles et instrumentation, etc.)
- Promouvoir les rétro-analyses formelles et les retours d'expérience