

IMGC

ADAPTATION DES OUVRAGES EN MAÇONNERIE AUX NOUVELLES CONDITIONS DE SERVICE

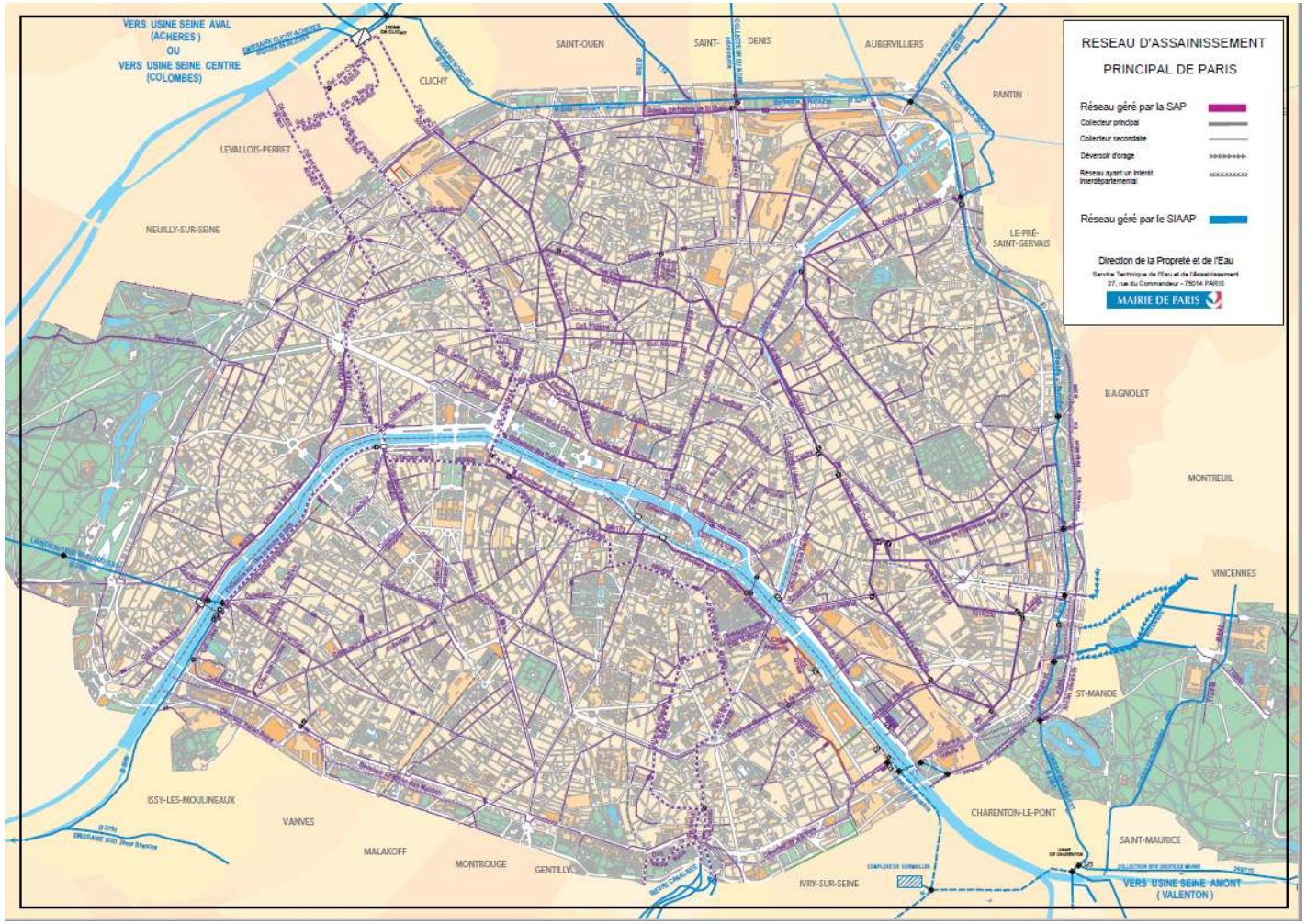
Journée Technique
Vendredi 21 septembre 2017
à l'Amphithéâtre AUGUSTE BRULÉ

Les grands collecteurs souterrains parisiens en maçonnerie

I. Benslimane – Structure & Réhabilitation

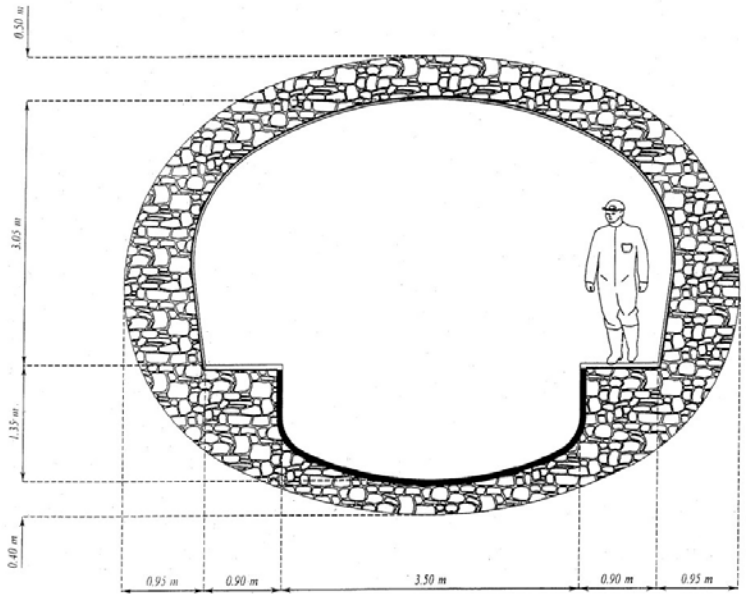
ETUDES et TRAVAUX

Le réseau d'assainissement de la ville de Paris



Les grands collecteurs : Collecteurs à bateau

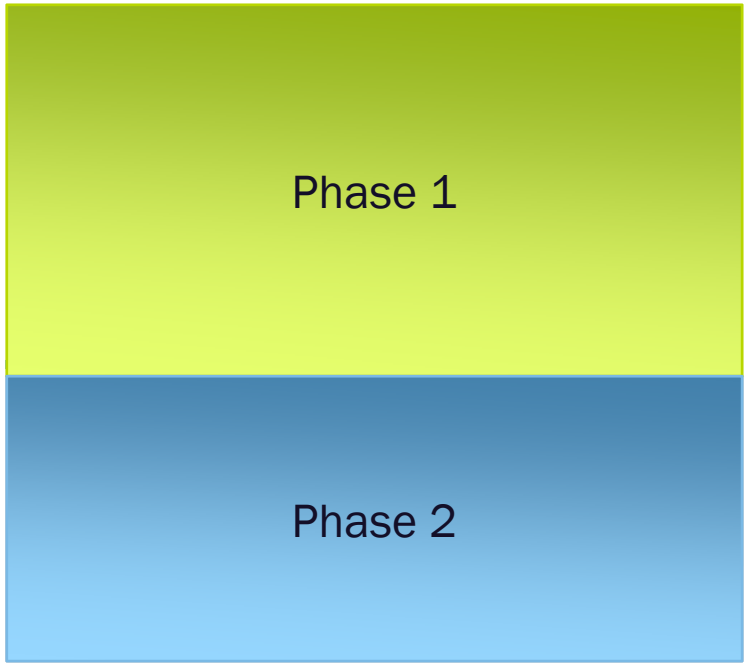




Largeur cunette 2,20 m : Linéaire total d'ouvrage # 30 000 m

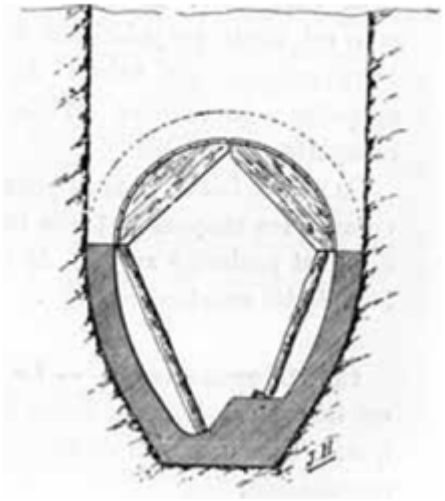
Mode de construction

- EN TRANCHEE
  - Phase 1 :
    - Excavation du terrain au-dessus de la nappe
    - Construction de la voûte et des piédroits
  - Phase 2 :
    - Epuisement complet de la nappe
    - Réalisation des banquettes et de la cunette en sous-œuvre



Mode de construction

- EN TRANCHEE





Mode de construction

- EN SOUTERRAIN

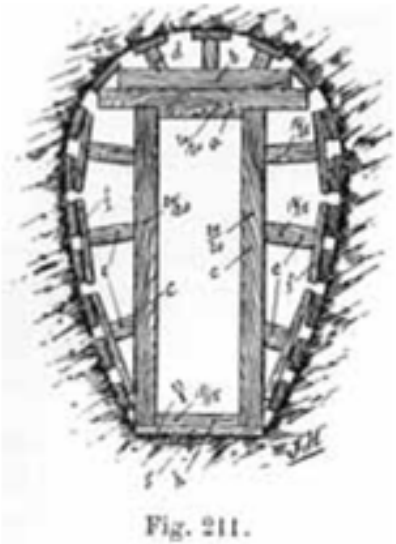


Fig. 211.

b, chapeau. — *a*, contre-chapeau. — *c*, chandelles. — *s*, semelles. — *h*, contre-semelles. — *f*, couchis. — *e*, étrésillons. — *d*, calos.

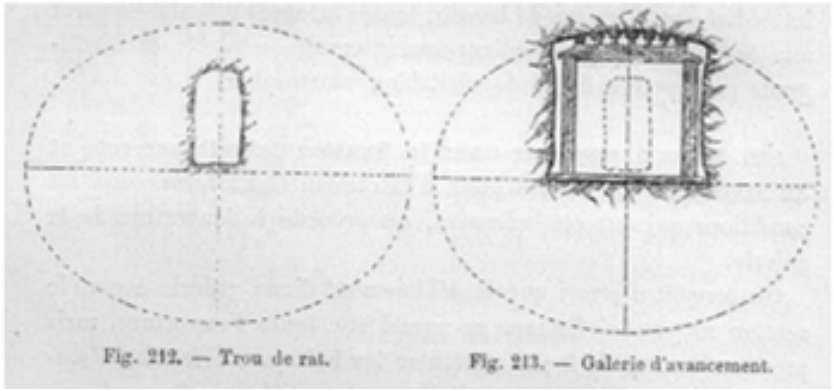


Fig. 212. — Trou de rat.

Fig. 213. — Galerie d'avancement.

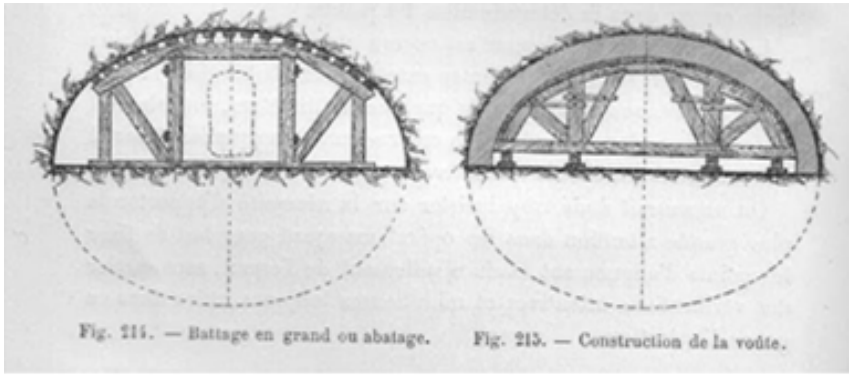
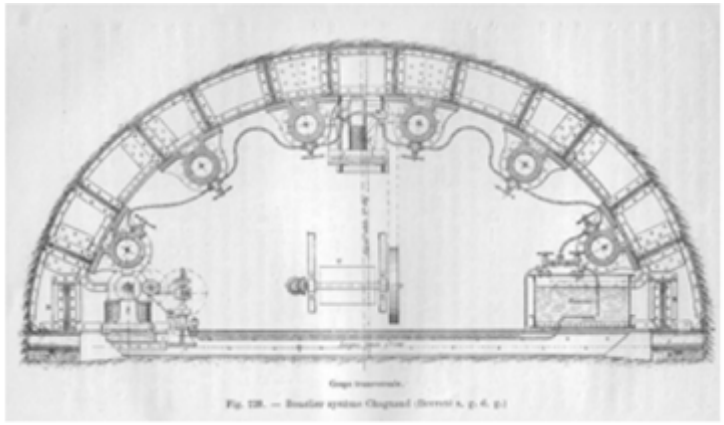


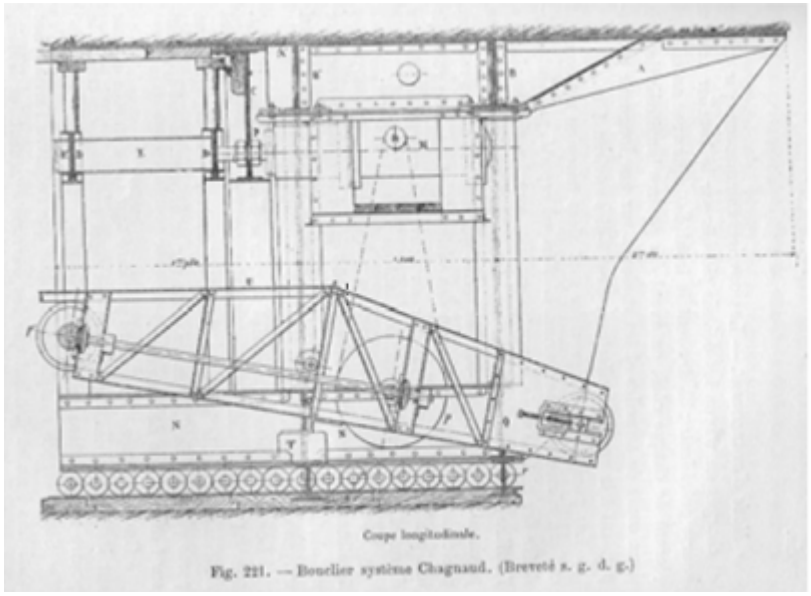
Fig. 214. — Battage en grand ou abatage.

Fig. 215. — Construction de la voûte.

Mode de construction

- Construction mécanisée à l'aide d'un bouclier (inventé par Brunel en 1825)





Coupe longitudinale.

Fig. 221. — Bouclier système Chagnaud. (Breveté s. g. d. g.)

Les matériaux

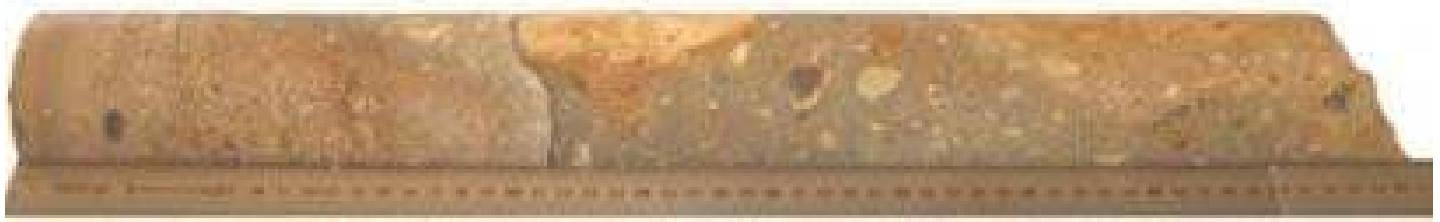
- Béton





- Maçonnerie





Les pathologies - causes et conséquences

- PATHOLOGIES :



- Fissurations ;



- Affaissement ;
- Ruptures



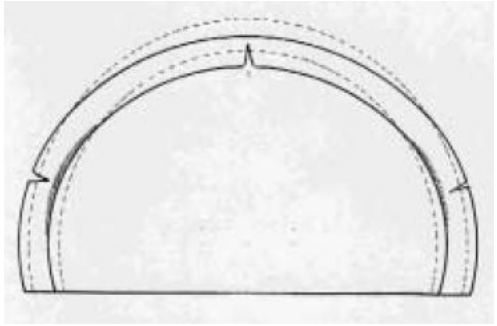
- Infiltrations ;
- Exfiltrations

...

Les pathologies

Fissurations

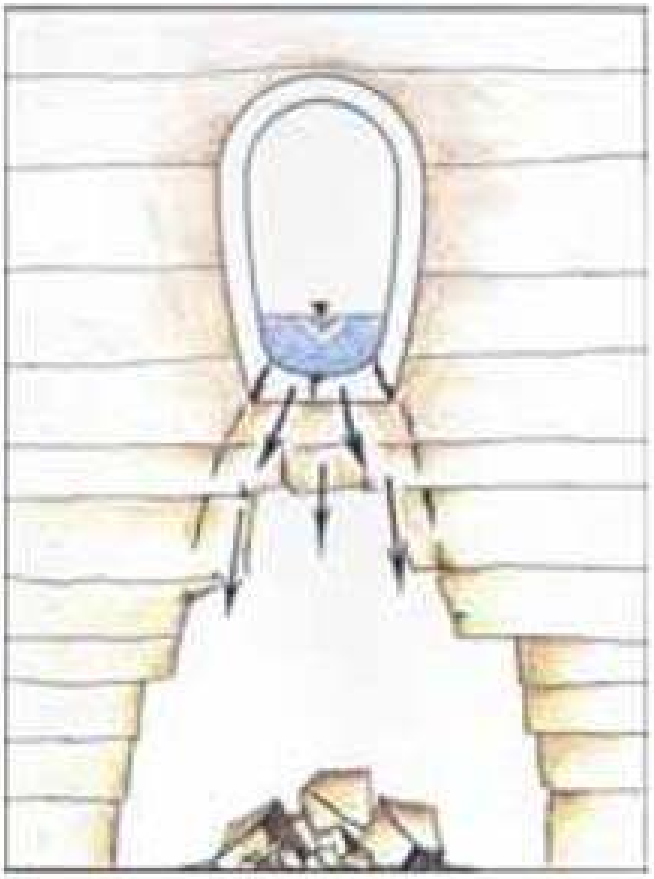






Les pathologies

Affaissement





Les pathologies

Infiltrations / exfiltrations



Les pathologies – causes et conséquences

- CAUSES :
  - Affaiblissent des caractéristiques des matériaux de structures (Vieillissement) ;
  - Altérations des interfaces ;
  - Altérations du sol à proximité immédiate ;
  - Modifications de l'environnement (Concessionnaires, travaux, constructions nouvelles) ;
  - Modifications des conditions d'exploitation



Présence de concessionnaires

Les pathologies – causes et conséquences

- CONSEQUENCES :
  - Instabilité structurelle
  - Instabilité de l’environnement proche ;
  - Perte d’étanchéité ;
  - Altérations des conditions d’exploitations

Auscultations

OBJECTIFS : Identifier et caractériser les paramètres de la structure et de son environnement ;

AUSCULTATIONS :

- Etat apparent de la structure : Inspection visuelle/télévisuelle ;



- Relevé dimensionnel :
  - Intrados ;
  - Extrados : Radar ;





Auscultations

Inspection visuelle / Télévisuelle



Auscultations

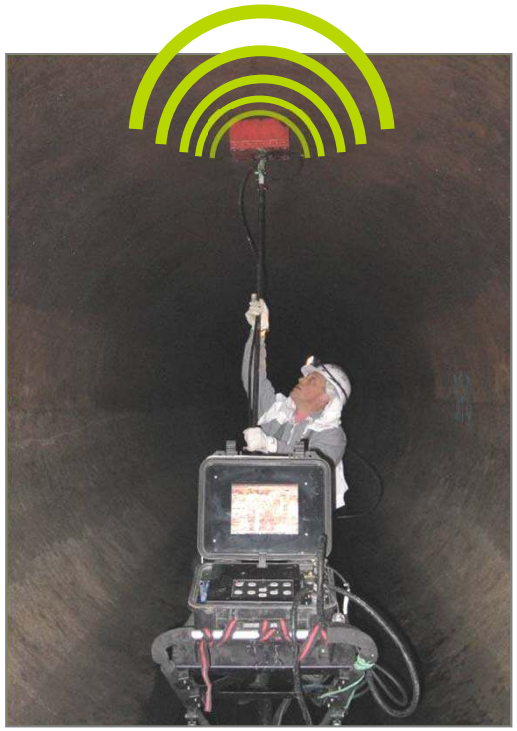
Relevé dimensionnel - intrados

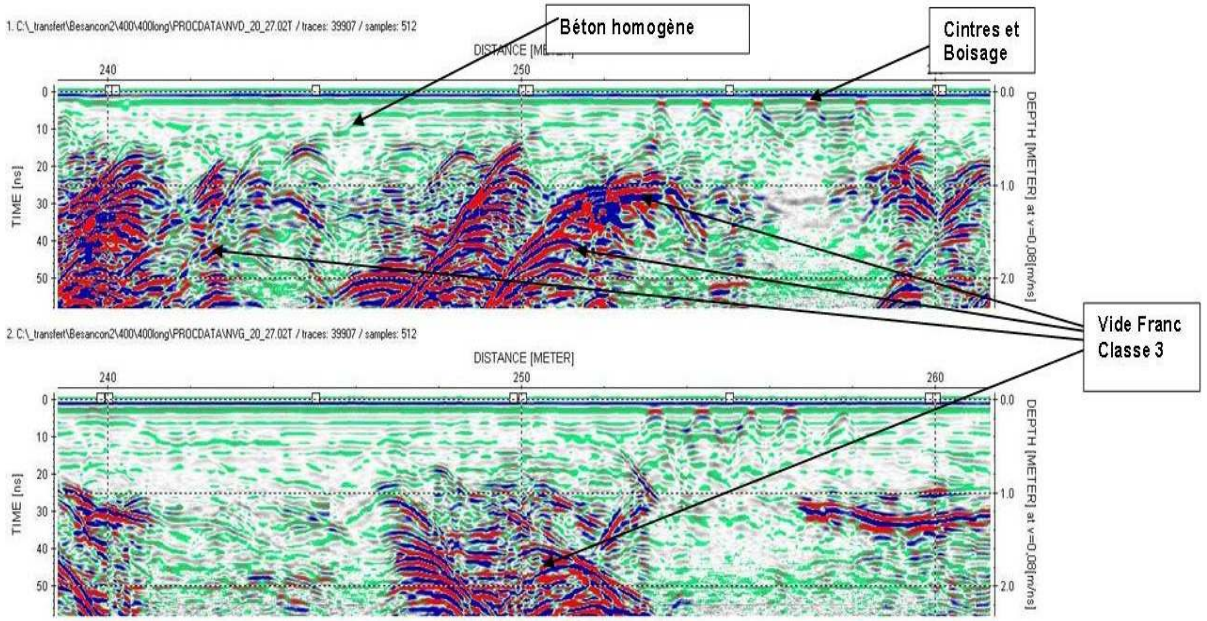


Relevés de buses métalliques avec un profilomètre laser

Auscultations

Relevé dimensionnel - extrados

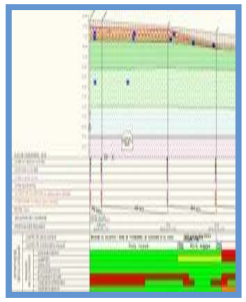




Radar géophysique

Auscultations

- Qualification de son environnement :
  - Géologie et hydrogéologie : (Enquêtes – Essais destructifs) ;
  - Concessionnaires : (Enquêtes – Auscultations) ;
  - Interfaces : Vérinage interne – Radar



- Qualification de la structure :
  - Vérinage interne ;
  - essais destructifs ;

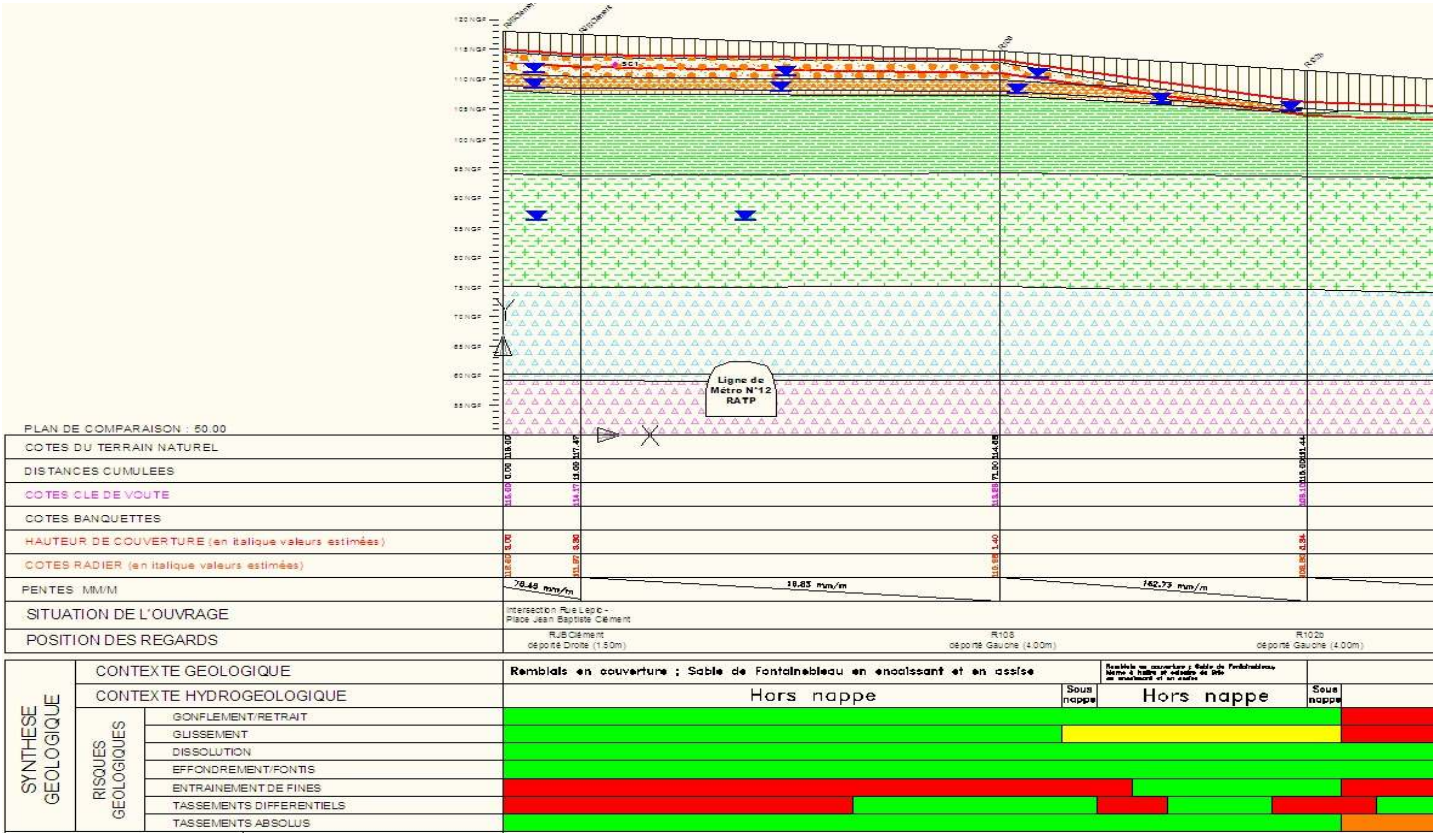




- Qualification de l'ensemble STRUCTURE-INTERFACE- TERRAIN PROCHE : VERINAGE INTERNE.

Auscultations

Géologie et hydrogéologie



Profil en long

Auscultations

Vérinage interne

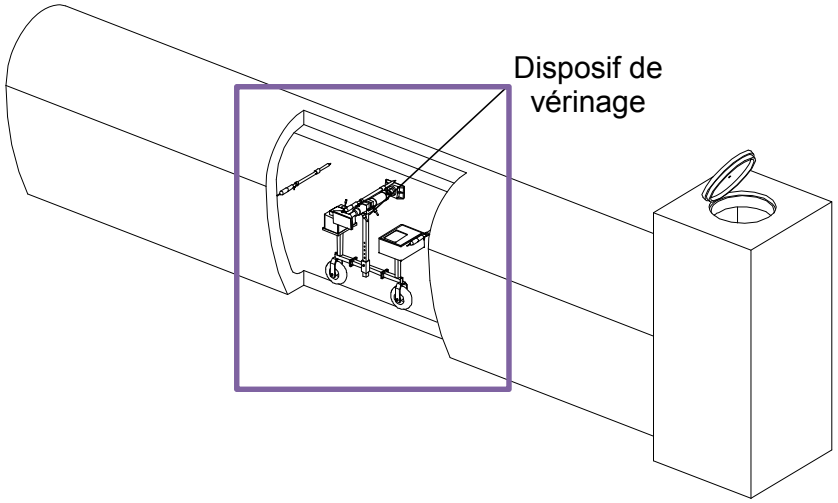
- L'essai consiste à ovaliser une conduite par un dispositif de vérinage interne et à mesurer la déformation tridimensionnelle résultante.

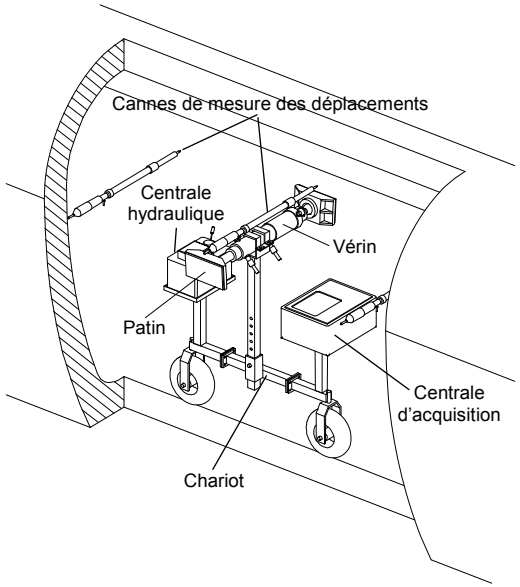


Auscultations

Vérinage interne

- 2 cycles de chargement par point d'essai :
  - Mesure de la force exercée par le vérin
  - Mesure des déplacements de l'ouvrage (cannes de mesure) :
    - au droit du vérin
    - à une distance caractéristique (~ 1,3 m) de part et d'autre du vérin

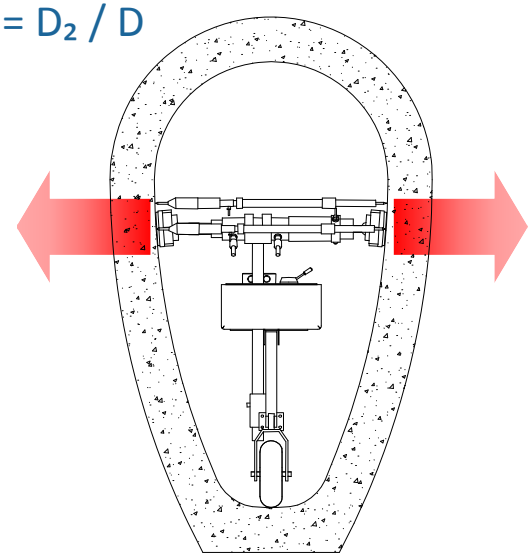


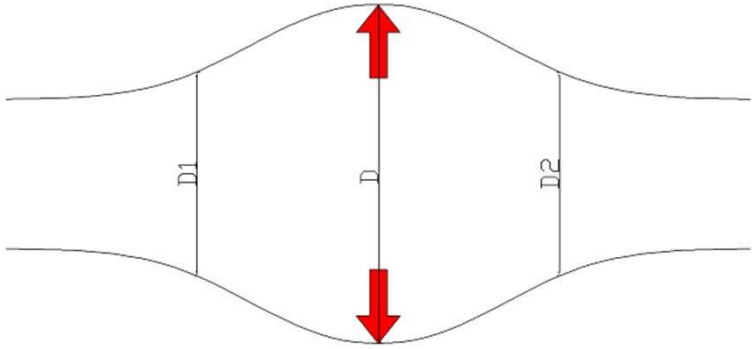


Auscultations

Vérinage interne

- À partir des données mesurées, obtention de :
  - Raideur globale (sol + conduit) :
    - $Kg = F / (D/2)$
  - Taux de transmission des déplacements
    - $\Omega_1 = D_1 / D$
    - $\Omega_2 = D_2 / D$





Auscultations

Essais destructifs *in situ* et en laboratoire



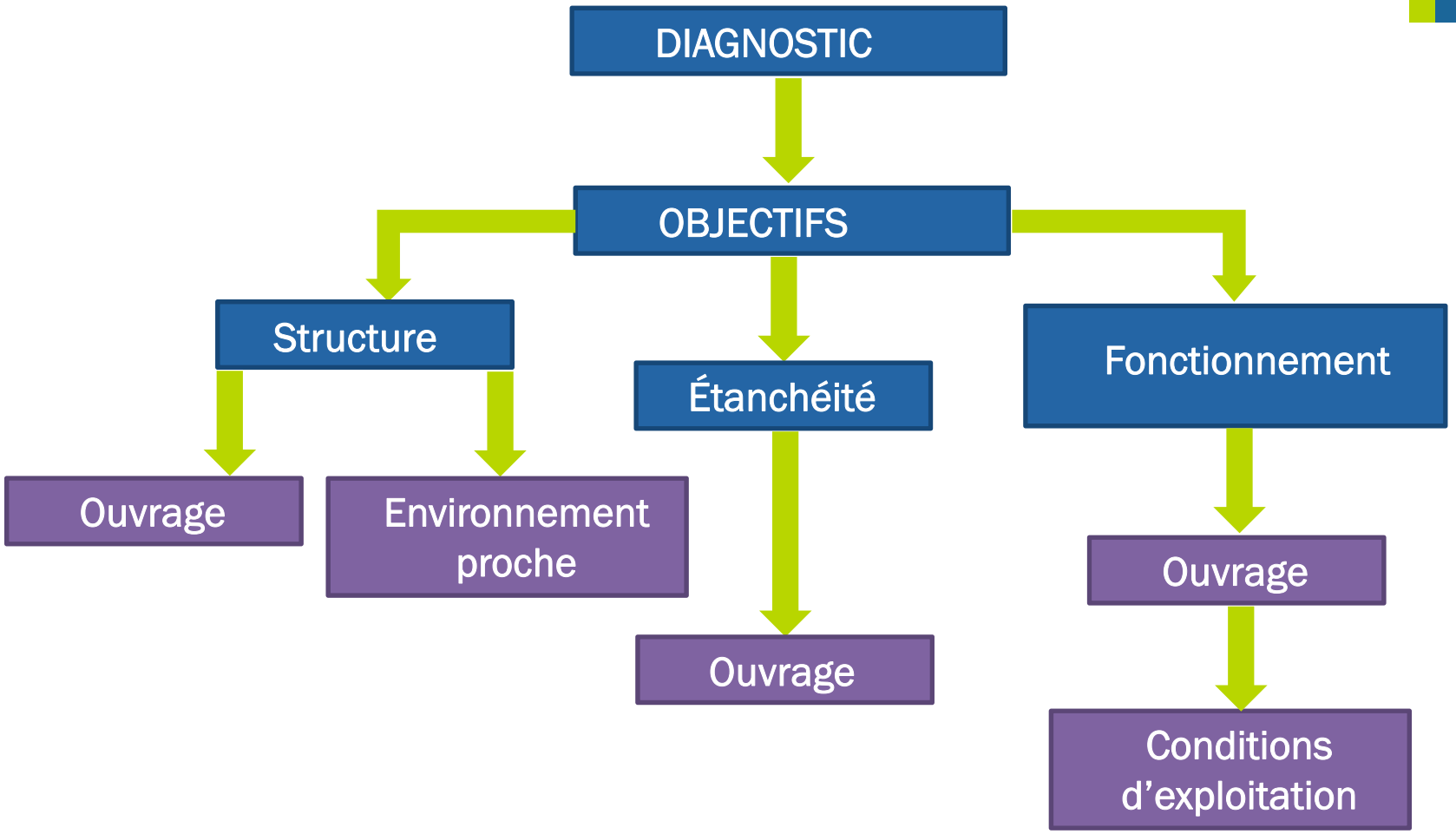
Prélèvements par carottage



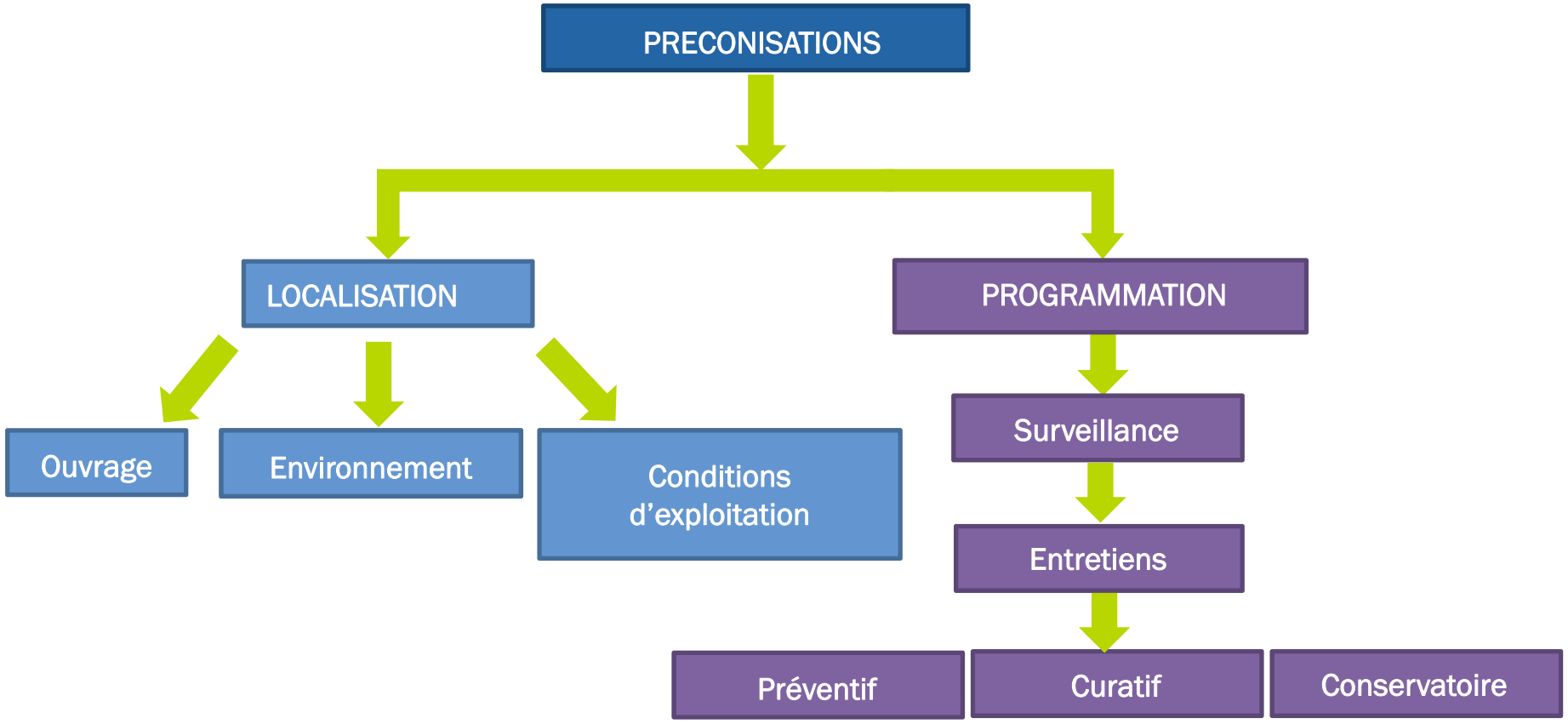


Essais en laboratoire

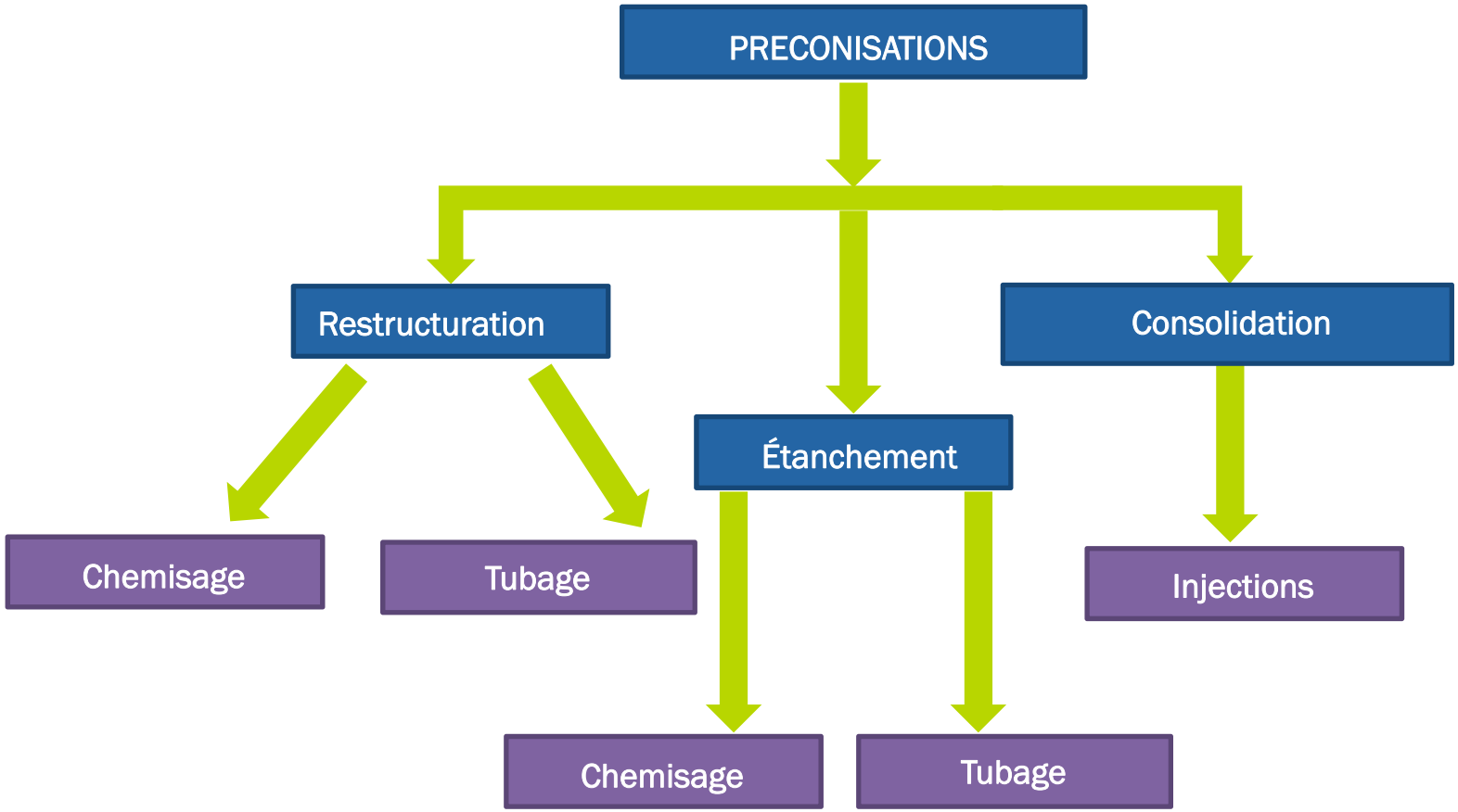
Diagnostic


DIAGNOSTIC
OBJECTIFS
Structure
Étanchéité
Fonctionnement
Ouvrage
Environnement proche
Ouvrage
Ouvrage
Conditions d'exploitation

Préconisations de travaux



Choix des travaux



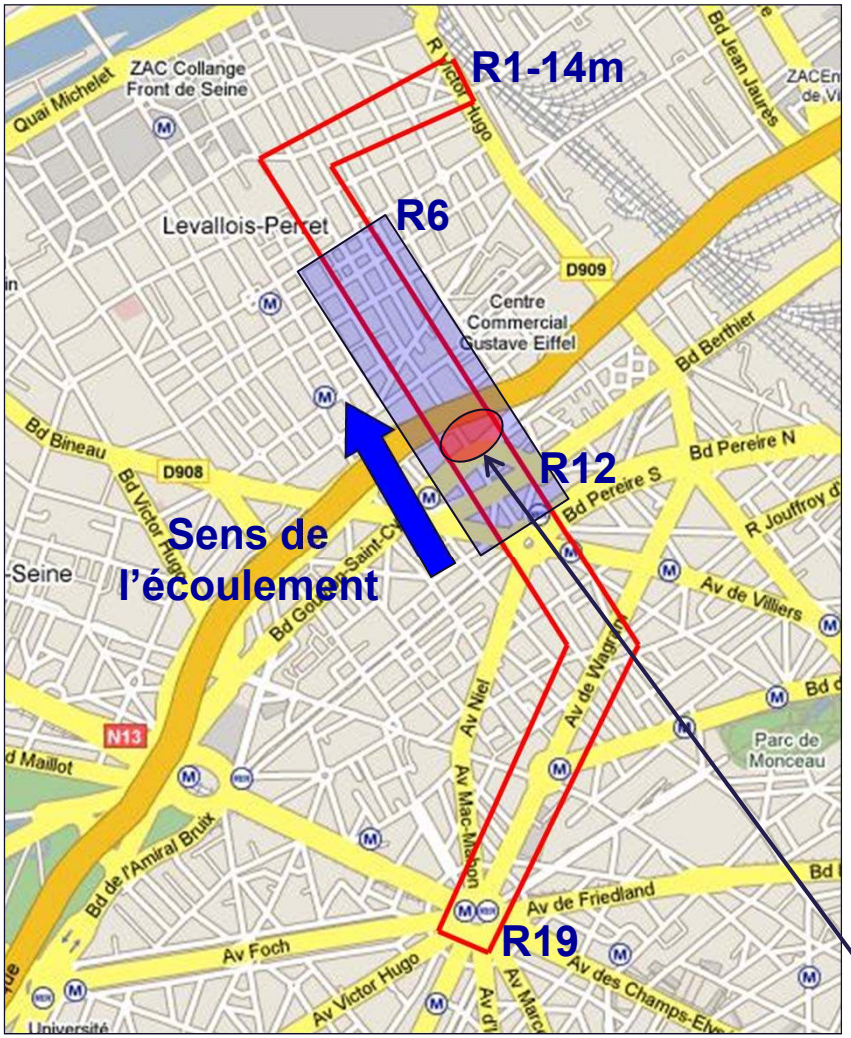
Collecteur Marceau :
exemple d'étude





Les grands collecteurs souterrains parisiens en maçonnerie

Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m







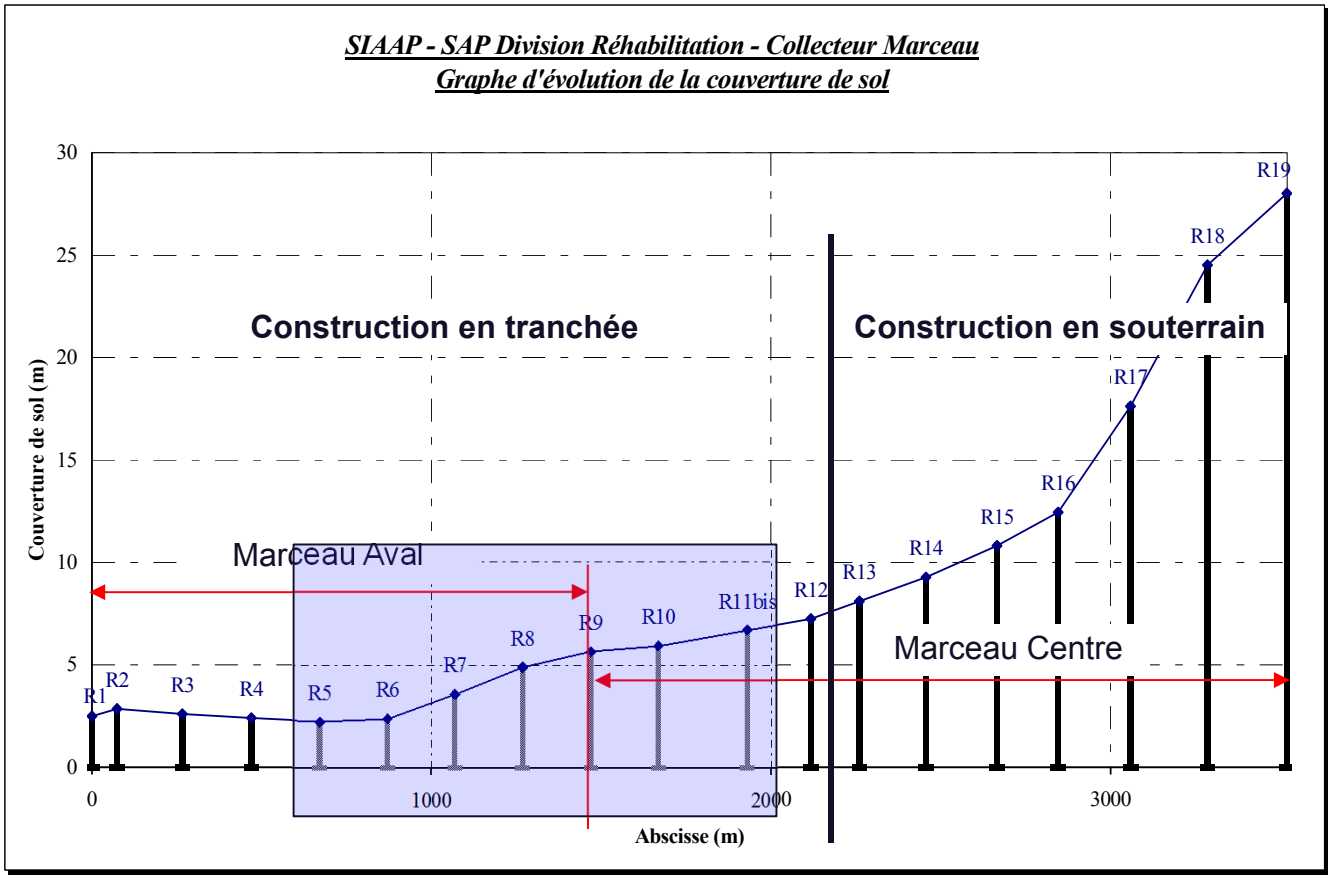
Regards sous trottoir

Ouvrage sous chaussée

Puits de Courcelles (existant)

Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Situation



1 140 ml

Construction

1866 – 1868

Couverture de sol

3,60 m à 7,25 m

Réalisation en tranchée

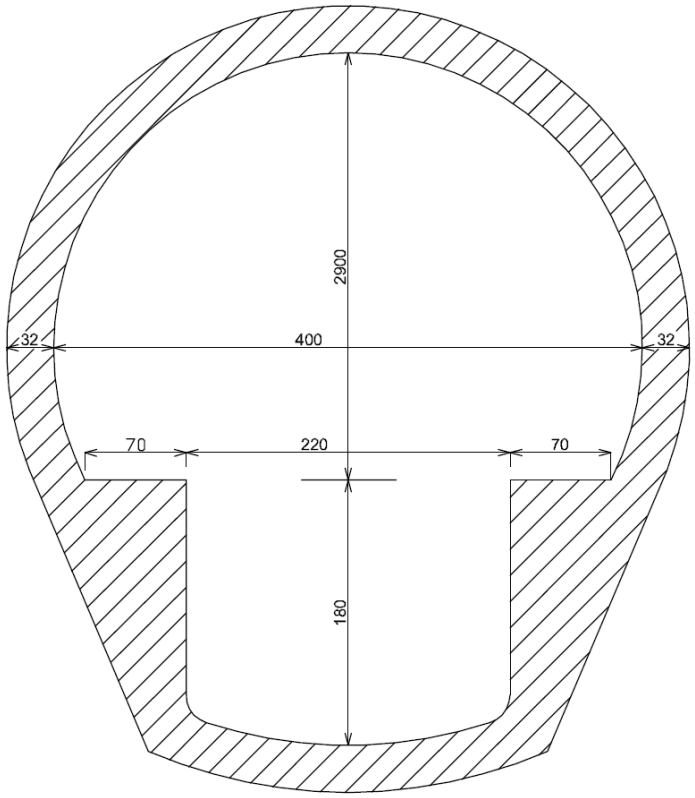
Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Caractéristiques de l'ouvrage

Type 3

4.7 m x 4 m





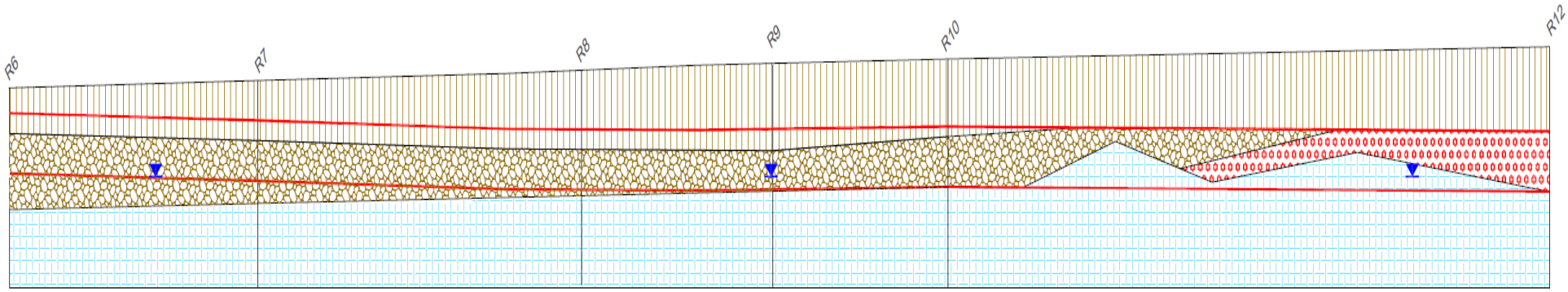
Épaisseur PD : 32 cm (R4+58m à R9)

52 cm (R9 à R12)

Maçonnerie recouverte d'enduit

Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Environnement géologique



Risque d'entraînement de fines sur 100% du linéaire

Nappe : à 30 cm sous le radier en 1968 (zone de battement)

⇩

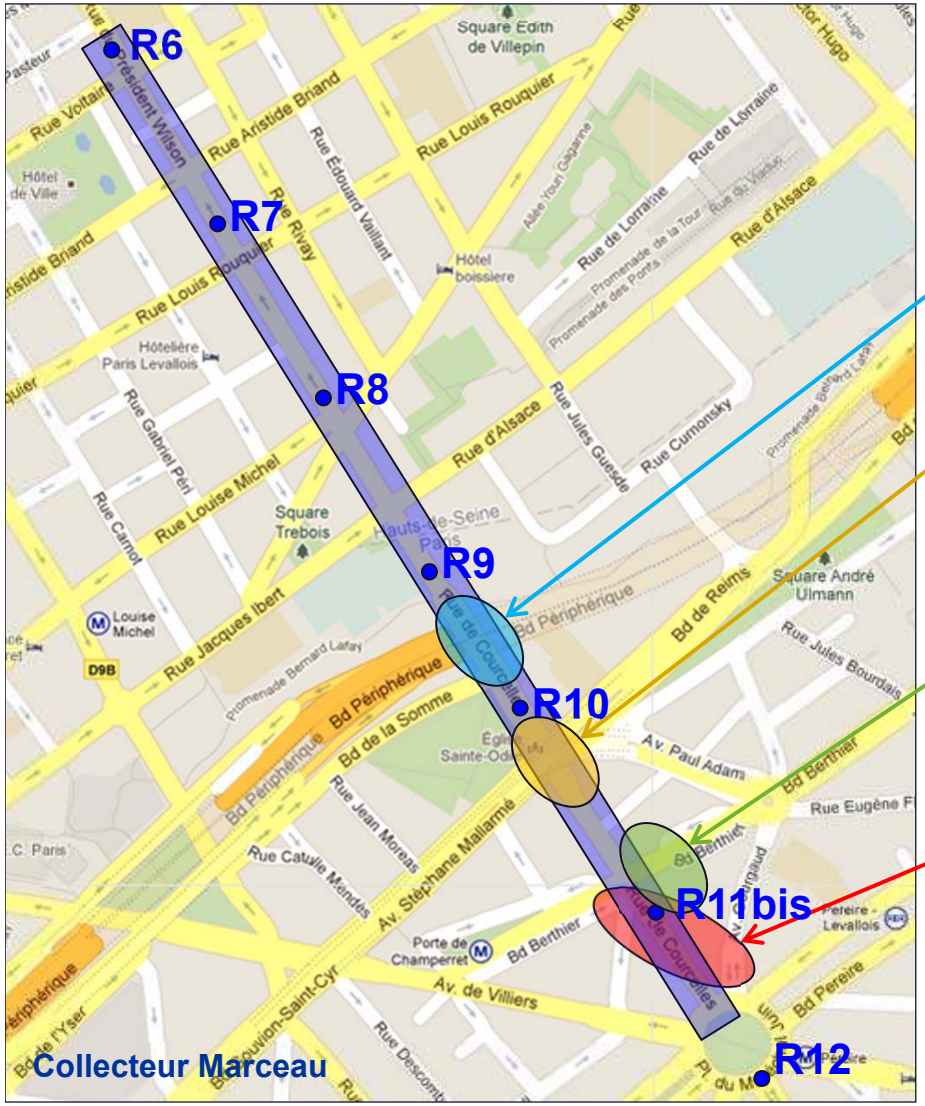
Altération de l'interface

Décompression de l'encaissant



Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Concessionnaires importants



- Plusieurs traversées en clé
- **Boulevard Périphérique**
  transversal en clé à 5-6 m de l'ouvrage
- **Tunnel routier**
  transversal en clé à ~1 m de l'ouvrage
  ~ 20 ml
- **VEOLIA – Ancien collecteur transformé**
  à gauche à 0 - 2,5 m de l'ouvrage
  ~ 55 ml
- **RATP – Métro Ligne 3**
  à droite puis en clé à ~1 m de l'ouvrage
  ~ 120 ml

Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Synthèse des relevés d'état

Parements :

- Cunette : pellicule boueuse + effluents (pas visible)
- Banquettes : dessus altéré et nez cassé
- Enduit : altéré en piédroits et voûte

⇨ **Vieillissement de la structure**
Perte d'étanchéité

Évolution 1999-2008 : Altération croissante des banquettes

Équipements : Nombreux concessionnaires traversants (supports, anneaux,…)





Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

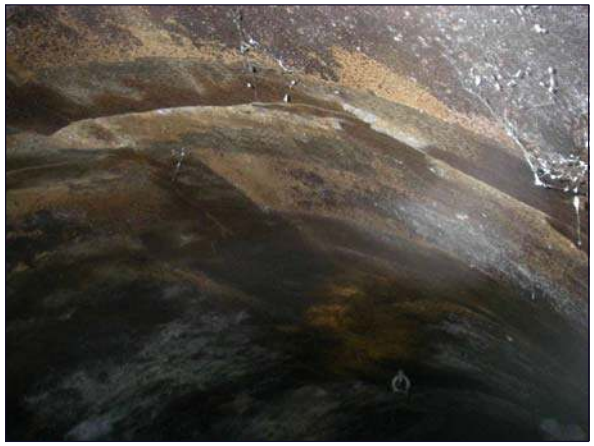
Synthèse des relevés d'état

Fissuration :

- Fissuration longitudinale en voûte fine à large sur 65 % du linéaire
- Fissuration transversale en voûte et piédroits fine à large

Fissuration plus ouverte à l'aval (R6)

Évolution 1999-2008 : Elargissement des fissures



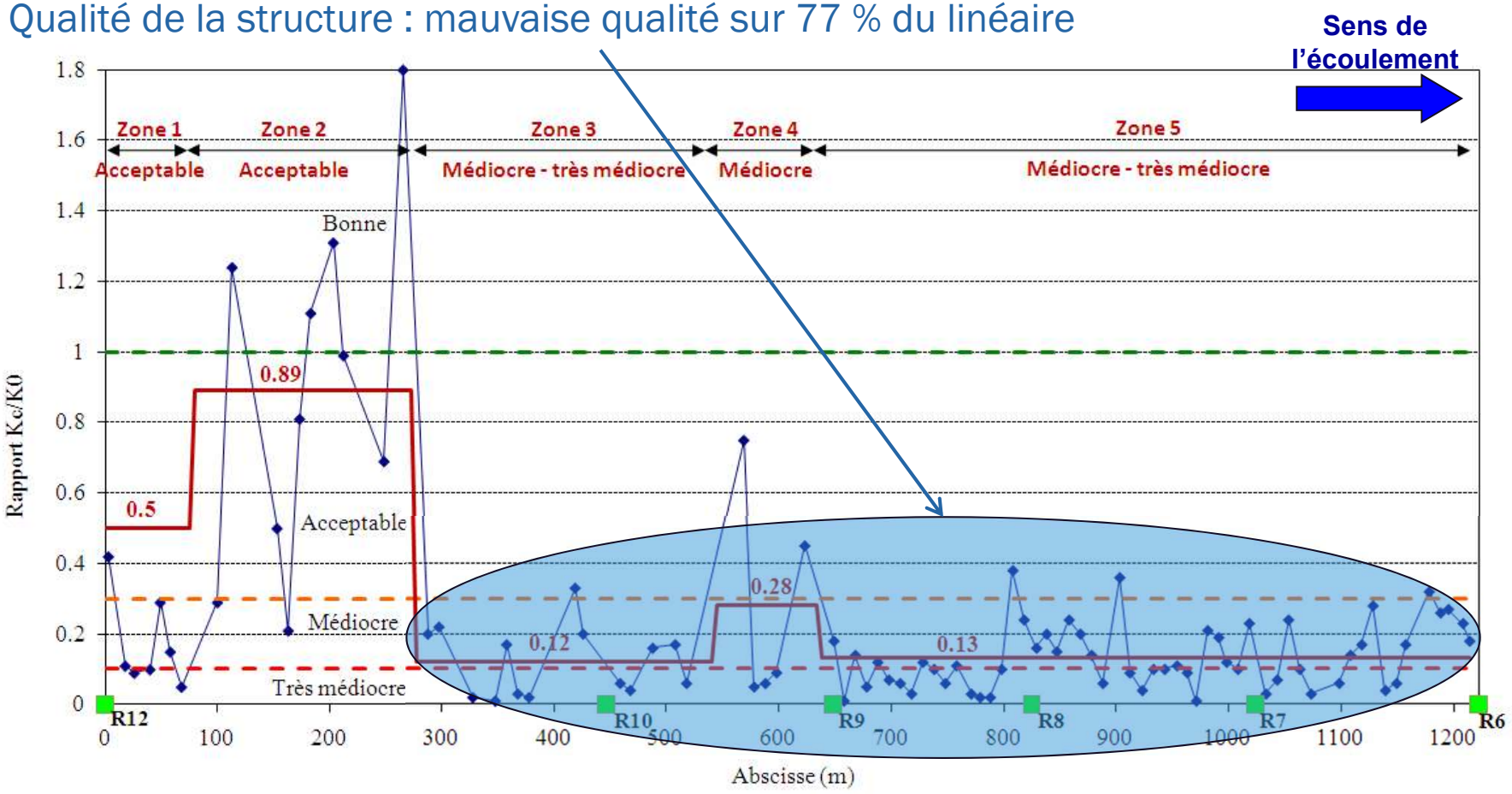




Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Résultats des auscultation par vérinage : structure

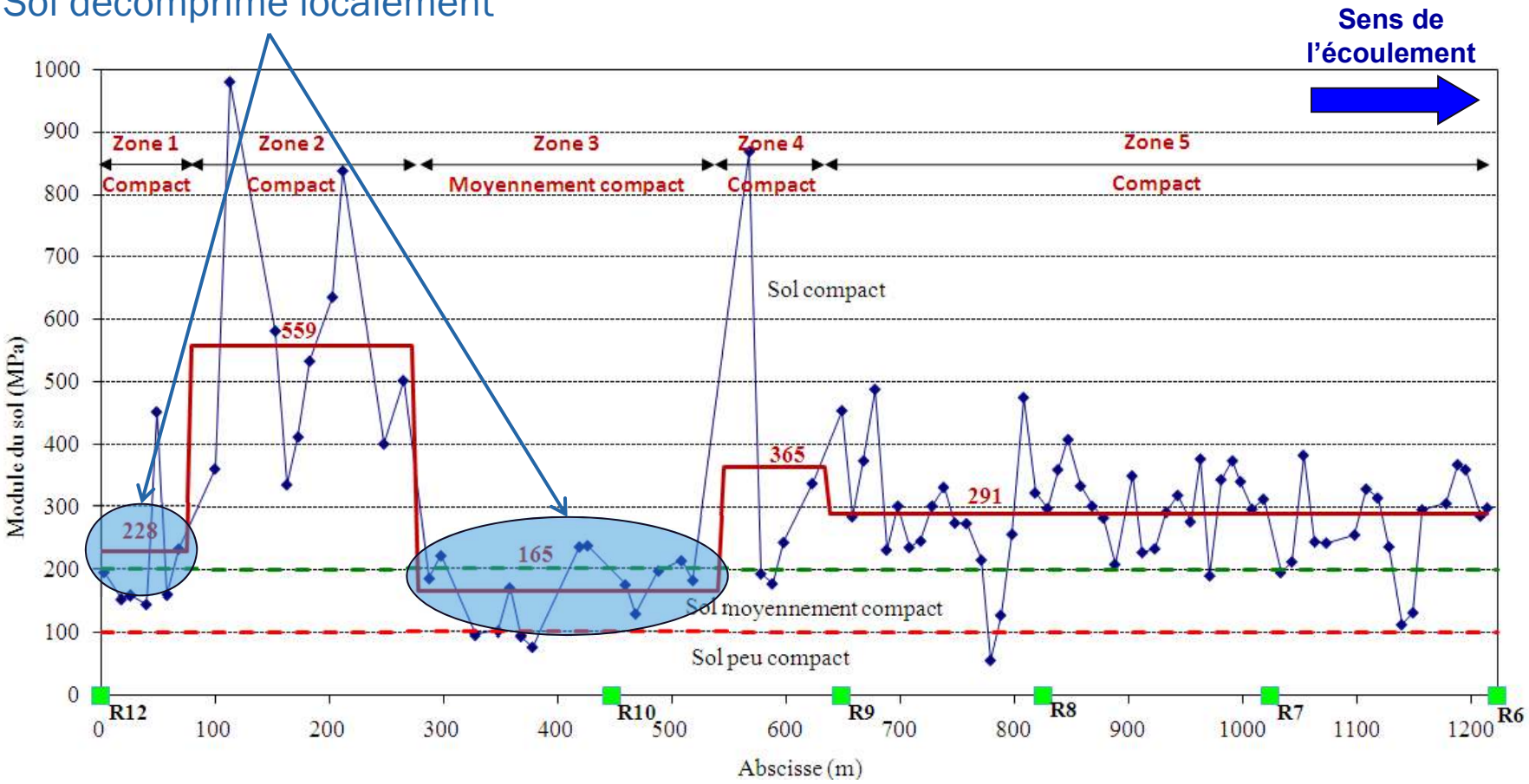
Qualité de la structure : mauvaise qualité sur 77 % du linéaire



Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Résultats des auscultation par vérinage : sol encaissant

Sol décomprimé localement



Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Résultats des auscultations : sondages

Numéro	Abscisse (m)	Photo	Épaisseur (cm)	Qualité
SC4	R11bis+55m		56	Bonne
SC3	R11bis+15m		63	Bonne
SC2	R10+102m		40	Mauvaise
SC1	R9+160m		48	Moyenne
Épaisseur moyenne de R9 à R12				52 cm
Qualité moyenne de R9 à R12				Bonne
SC1	R9+123m		32	Moyenne
SC2	R7+61m		33	Moyenne
SC3	R6+74m		31	Moyenne
Épaisseur moyenne de R6 à R9				32 cm
Qualité moyenne de R6 à R9				Moyenne

Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Résultats des auscultations : Synthèse

Acceptable
Médiocre
Mauvais

Zone	Localisation	Linéaire (m)	Qualité de la structure	Qualité de l'interface et de l'encaissant	Encaissant
MARCEAU CENTRE - SECTION TYPE 3 (e=50 cm)					
1	R12 à R11bis+100m	75	0.19	190	Sables de Beauchamp
2	R11bis+100m à R10+177m	185	0.89	559	Marnes et caillases Sables Beauchamp
3	R10+177m à R9+125m	250	0.12	165	Marnes et caillases
4	R9+125m à R9	125	0.28	365	Alluvions Anciennes
MARCEAU AVAL - SECTION TYPE 3 (e=32 cm)					
5	R9 à R6	596	0.13	291	Alluvions Anciennes

Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Diagnostic

Vieillissement du matériau → Affaiblissement mécanique

Vieillissement du matériau → Perte d'étanchéité

Entraînement de fines → Décompression de l'interface → Affaiblissement mécanique

Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Diagnostic

- RÉTABLISSEMENT DE LA CAPACITÉ STRUCTURELLE
- RÉTABLISSEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ
- Amélioration du fonctionnement

⇨ TRAVAUX DE RESTRUCTURATION ET DE RÉNOVATION

⇩

Long terme *

* L'ouvrage a plus de 140 ans

Marceau Aval 1 (R12 à R6) : 1 140 m

Préconisations

STRUCTURE ALTÉRÉE ⇨ RESTRUCTURATION

- CHOIX 1 :
  - Injections de collage
  - Chemisage structurant armé (≥ 6 cm) ⟶ Réduction du gabarit
- CHOIX 2 :
  - Injections de collage avec effets de régénération
  - Chemisage mince non armé (3 cm) ⟶ Conservation de la section hydraulique

Collecteur Marceau :

Travaux de réhabilitation





Les grands collecteurs souterrains parisiens en maçonnerie

Présentation de l'ouvrage et des travaux

Travaux principaux





- ✓ Injections de collage avec effets de régénération sur la totalité du linéaire
- ✓ Chemisage structurant mince non armé en voute et piédroits sur l'ensemble du linéaire
- ✓ Reprofilage du radier de la cunette sur l'ensemble du linéaire et mise en place de dispositifs pour barrages à poutrelles tous les 200 mètres ;
- ✓ Réhabilitation de la cunette (radier et bajoyers)

Présentation de l'ouvrage et des travaux

Travaux préparatoires : Accès

- Ouverture du puits de Courcelles et installation d'un portique







Présentation de l’ouvrage et des travaux

Travaux préparatoires

- Installation des bungalows et d’une sapine d’accès au collecteur





Présentation de l'ouvrage et des travaux

Travaux préparatoires

- Mise en place des barrages Place des Ternes, place du Maréchal Juin et collecteur Pereire





Présentation de l’ouvrage et des travaux

Travaux préparatoires

- Mise en place d’un platelage sur 1140 ml





Présentation de l'ouvrage et des travaux

Travaux préparatoires



❖ Eclairage du collecteur sur 1140 ml



❖ Lavage du collecteur sur 1140 ml



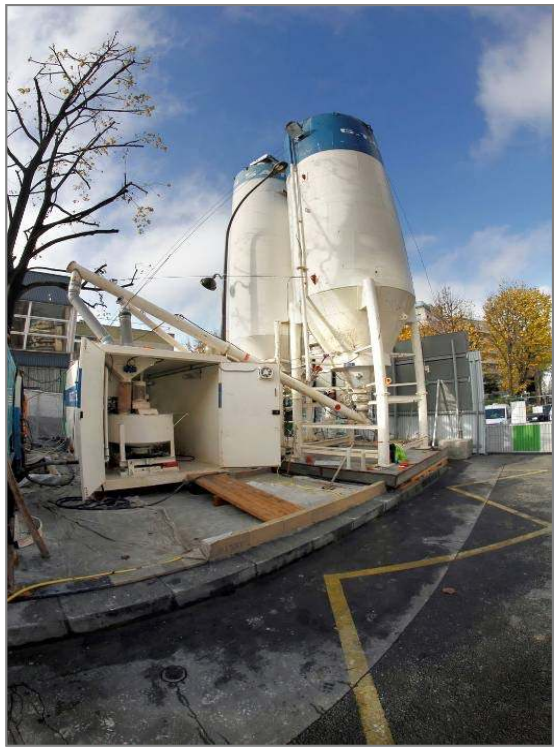
❖ Dépose des conduites, câbles et supports désaffectés

Injections de collage avec effets de régénération

Phasage

1) Installation en surface et en égout ;



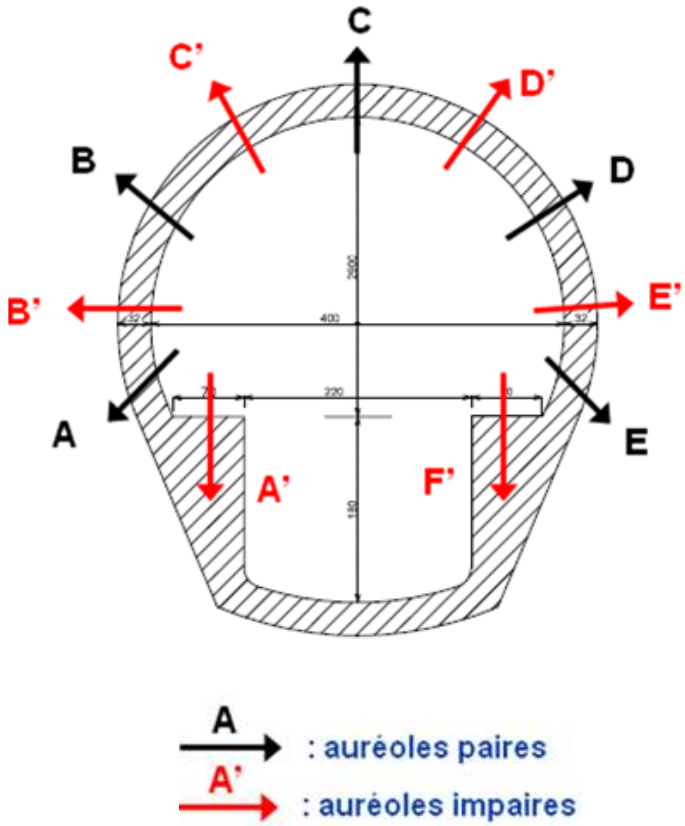




Injections de collage avec effets de régénération

Phasage





Injections de collage avec effets de régénération

Phasage

2) Implantation et réalisation des forages ;





Injections de collage avec effets de régénération

Phasage

3) Scellement des canules d'injection ;



4) Injection du coulis de collage ;



Injections de collage avec effets de régénération

Phasage

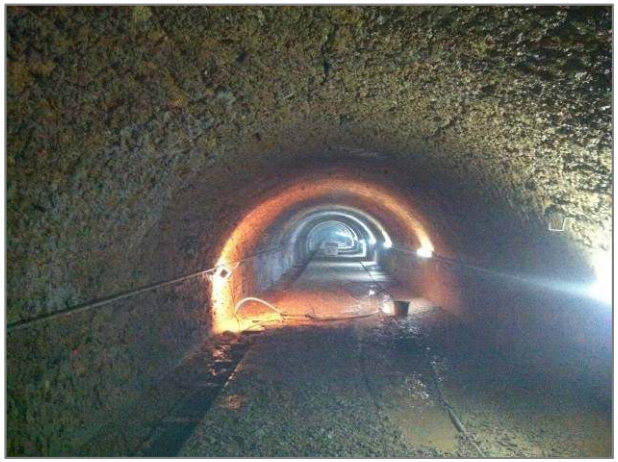
5) Enlèvement des canules et reprise de l'enduit localement.



Chemisage voûte et piédroits

Hydrodémolition voûte et piédroits

- Caractéristiques de la mise en œuvre :
  - ✓ Lance ultra haute pression à 2500 bars
  - ✓ Démolition de l'enduit sur 3 à 4 cm sur l'intégralité du linéaire.


Chemisage voûte et piédroits

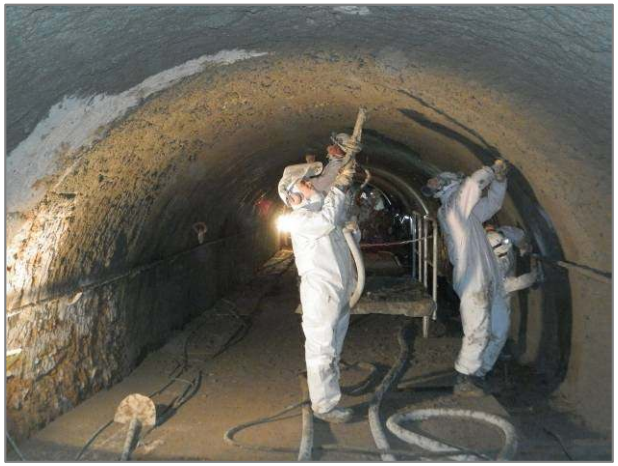
Dimensionnement

- Hypothèses principales :
  - ✓ Qualité de la structure médiocre ;
  - ✓ Sol encaissant non décomprimé ;
  - ✓ Sollicitations à prendre en compte : sol en place, surcharges routières, mise en charge hydraulique de 0,5m au-dessus de la clef.
- Exigences principales :
  - ✓ Epaisseur minimale de 3cm ;
  - ✓ Résistance caractéristique en compression à 28 jours : 35 MPa ;
  - ✓ Résistance caractéristique à la traction-flexion à 28 jours : 6 MPa ;
  - ✓ Adhérence minimale béton/maçonnerie : 1,5 MPa.

Chemisage voûte et piédroits

Caractéristiques de la mise en oeuvre

- ✓ Produit utilisé : mortier de réhabilitation fibré EMACO S21 ;
- ✓ Produit de cure : MASTERKURE 82 ;
- ✓ Projection de la 1ère couche puis réalisation de la couche de finition dans les 24 heures ;
- ✓ Application du produit de cure sur la couche de finition dans l'heure pour éviter la dessiccation.

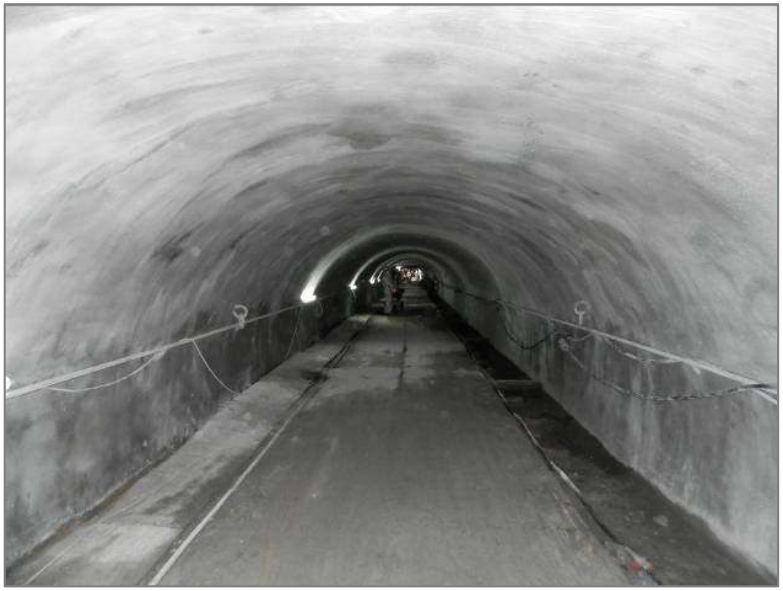




Chemisage voûte et piédroits

Avancement

- ✓ Les travaux de chemisage ont eu lieu du 19 décembre 2012 au 31 janvier 2013 sur l'intégralité du linéaire (1140ml) ;
- ✓ Cadence : 135m²/jour. (ml)



Travaux en cunette, bajoyers et banquettes

Phasage



1) Pose du busage : un tuyau ø400 mm sur chacune des banquettes



2) Dépose du platelage



3) Mise à sec de la cunette



4) Curage de la cunette au bobcat

Travaux en cunette, bajoyers et banquettes

Phasage



5) Réfection généralisée des banquettes





6) Hydrodémolition de la cunette

Travaux en cunette, bajoyers et banquettes

Phasage



7) Réfection généralisée du radier



8) Traitement des fissures en bajoyers

Travaux en cunette, bajoyers et banquettes

Problème rencontré

✓Présence de coulis d'injection dans la cunette.



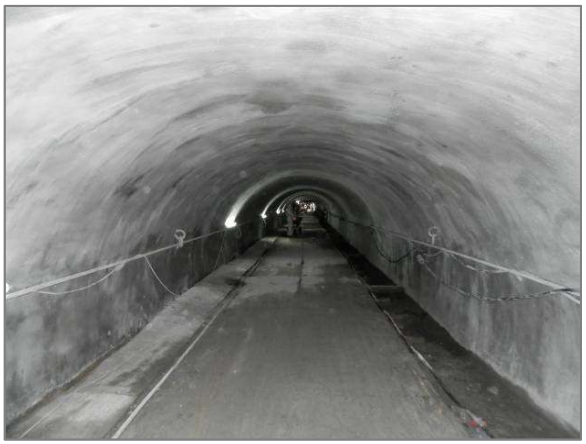


Démolition au marteau piqueur du coulis présent en cunette



Tri des déchets (coulis/boue)

Fin des travaux



✓ Vue générale du chemisage



✓ Vue générale de la cunette réhabilitée



✓ Dépose des barrages et du busage

Fin

MERCI DE VOTRE ATTENTION