



EXPERTISE GEOTECHNIQUE - STRUCTURE - ARBITRAGE

Dossier n° 11-339-C
NIMES (30)
Ilot Grill
Musée de la Romanité

MBC n° 10000104
Commande n° 11016391

Essai de pompage
Mission G12 (NF P94-500)

Client : MAIRIE
Service des Equipements
152 rue Robert Bompard
30033 NIMES Cedex 9

Rédigé par
Rémy CAPO

Contrôlé par
Sébastien QUEIROS

A Jacou, le 25 janvier 2012

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| I – PRESENTATION DE L'ETUDE | 2 |
| II – SITUATION GEOGRAPHIQUE | 3 |
| III – CADRE GEOLOGIQUE | 4 |
| III.1. LITHOTRASTIGRAPHIE | 4 |
| III.2. STRUCTURE | 4 |
| IV – HYDROGEOLOGIE | 6 |
| V – TRAVAUX DE FORAGE | 7 |
| VI – ESSAI DE POMPAGE | 8 |
| vi.1. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES | 8 |
| vi.2. POMPAGE PAR PALIERS DE DEBIT | 9 |
| VI.2.1 Mise en œuvre | 9 |
| VI.2.2 Résultats et interprétation | 10 |
| vi.3. ESSAI DE POMPAGE DE LONGUE DUREE | 10 |
| VI.3.1 Chronologie | 10 |
| VI.3.1 Résultats et interprétation | 11 |
| VII – QUALITE DE L'EAU | 13 |
| VIII – PROPOSITION D'EXPLOITATION | 14 |
| IX – CONCLUSION | 15 |

| | |
|--|-----------|
| FIGURES | 17 |
| Figure 1 : Situation géographique | 18 |
| Figure 2 : Situation géologique | 19 |
| Figure 3 : Coupe géologique et technique du puits de pompage F | 20 |
| Figure 4 : Essai de pompage longue durée | 21 |
| Figure 5 : Essai de pompage par paliers de débit | 22 |
| Figure 6 : Courbes de rabattement à la descente | 23 |
| Figure 7 : Courbes de rabattement à la remontée | 24 |
| Figure 8 : Evolution de la qualité des eaux d'exhaure | 25 |

| | |
|---|-----------|
| ANNEXES | 26 |
| Coupe géologique et technique des piézomètres P1 et P2 | 27 - 28 |
| Extrait norme NF P94-500 de décembre 2006 (classification des missions géotechniques) | 29 - 30 |

AVANT-PROPOS

Le présent rapport concerne la réalisation et l'interprétation d'un essai de pompage que nous avons réalisées dans le cadre du projet de construction du Musée de la Romanité situé sur la parcelle appelée « Ilot Grill » au cœur du centre-ville de NIMES (30).

Selon la norme NF P94-500 de décembre 2006 (extrait fourni en annexe), cette mission est de type **G12** : *étude géotechnique d'avant-projet*.

Elle a été exécutée à la demande et pour le compte de la **MAIRIE de Nîmes – Service des Equipements – 152 avenue Robert Bompard – 30033 NIMES Cedex 9** dans le cadre du marché à bons de commande n° 10000104 (commande n° 11016391).

Compte tenu des diamètres et profondeurs des forages à réaliser (puits de pompage et piézomètres de suivi), la réalisation de ces ouvrages a été sous-traitée à l'entreprise **ROUDIL FORAGES**.

I – PRESENTATION DE L'ETUDE

L'objectif de cet essai de pompage est de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère présent sous le site.

En effet, en fonction de ces résultats une climatisation géothermique pourra être envisagée.

Dans ce but, nous avons suivi la création de trois ouvrages (un forage et deux piézomètres) et l'essai par pompage.

II – SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le site d'étude est situé au cœur de la ville de NIMES, immédiatement en face des Arènes entre la rue Alexandre Ducros, le boulevard de la République et le boulevard des Arènes (cf. Figure 1).

Il occupe les parcelles 595, 598 et 600 section EY du cadastre de la ville de NIMES.

Trois ouvrages ont été créés postérieurement aux études géotechniques afin de pouvoir tester l'aquifère :

- le forage F situé au Sud-Ouest de la parcelle 598,
- le piézomètre P1 situé à proximité immédiate au Nord du forage,
- le piézomètre P2 positionné à notre demande à l'opposé du site, dans le coin Nord-Est de la parcelle 600.

III – CADRE GEOLOGIQUE

III.1. LITHOTRASTIGRAPHIE

Un extrait de la carte géologique du BRGM n° 965 NIMES est donné sur la Figure 2.

La série stratigraphique présente est constituée, des formations les plus récentes aux plus anciennes, par :

- **CF, Ac et OE** : *Formations détritiques de couverture*. Ces formations sont issues du démantèlement des reliefs et différenciées essentiellement selon leur mode de transport.
Ac représente les formations colluviales que l'on retrouve immédiatement en pied de reliefs constituées d'éléments grossiers.
OE représente les formations fines transportées par le vent.
CF représente des formations fines piégées dans les dépressions alluviales. Ces formations sont de faibles épaisseurs (< 10 mètres).
- **Fvb** : *"Alluvions villafranchiennes"*. Ces formations ont été déposées par l'ancien Rhône sur la plaine allant du Rhône actuel jusqu'à Montpellier – Plaines de la Vistrenque et de Mauguio-Lunel. Elles sont constituées de galets roulés décimétriques, graviers et sables grossiers dans une matrice plutôt argileuse rougeâtre. Ces formations atteignent plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur lorsque que l'on va vers le Sud de la Vistrenque au niveau de NIMES, cette épaisseur est moindre (15 à 20 mètres).
- **P2b** : *Pliocène supérieur*. Cette formation est représentée faiblement en bordure Nord de la plaine de la Vistrenque et représente les dépôts de bordure marine avec des sables fins jaunes et des formations plus grossières composées de brèches calcaires. Son épaisseur est très variable mais atteint rarement plusieurs mètres.
- **E7 et E1-4** : *Éocène*. Cet ensemble regroupe les formations d'âge éocène peu visibles dans le secteur d'étude. Il est constitué des marnes plus ou moins bariolées, grès et calcaires lacustres.
- **N4a1** : *Barrémien inférieur*. Cette formation apparaît au Nord de NIMES dans les garrigues et représente le terme basal du grand ensemble barrémien affleurant sur une grande part du Gard. Il est constitué de calcaires et marno-calcaires.
- **N3a et N3b** : *Hauterivien*. L'ensemble hauterivien est constitué de termes calcaires, calcaires à chailles et calcaires marneux. Il affleure dans toute la partie Sud des Garrigues.

III.2. STRUCTURE

Les deux grands épisodes structuraux régionaux sont visibles dans le secteur d'étude avec au Nord le domaine des Garrigues et au Sud la plaine de la Vistrenque.

Ces structures sont héritées de l'orogénèse pyrénéo-provençale qui a engendré la création des reliefs des Garrigues par la mise en place d'une grande structure Est-Ouest chevauchante notamment par l'action de la Faille de Nîmes.

Cette phase a été suivie par une transgression marine qui a comblé les différents bassins d'avant relief par des dépôts marins (miocènes et pliocènes). Les effets d'eustatisme ont ensuite permis le passage d'un domaine marin à un domaine continental avec la mise en place de grands cours d'eau comme le Rhône.

Ce changement de régime a entraîné en partie l'érosion des dépôts marins et l'apport de dépôts alluviaux sur toutes les zones de dépressions.

L'évolution quaternaire a ensuite vu la mise en place du réseau hydraulique actuel et la création des dépôts détritiques de surface.

IV – HYDROGEOLOGIE

L'hydrogéologie du secteur est essentiellement représentée par deux grands ensembles aquifères : les calcaires hauteriviens dont l'exutoire principal est la Fontaine de Nîmes et les alluvions villafranchiennes.

Ces deux aquifères de type différent, fissuré-karstique pour le premier et poreux pour le second, sont essentiellement alimentés par les précipitations.

Au droit du site, l'aquifère des alluvions de la Vistrenque est le plus susceptible d'être recherché compte tenu de sa faible profondeur et des débits importants qu'il peut générer même en bordure proche des Garrigues. Ces dernières peuvent avoir un rôle dans son alimentation.

V – TRAVAUX DE FORAGE

Ils ont été réalisés par l'entreprise ROUDIL Forages, du 28 novembre au 2 décembre 2011.

Les coupes géologique et technique du forage sur lequel a été effectué le pompage sont tracées sur la Figure 3, les coupes géologiques et techniques des piézomètres P1 et P2 sont données en Annexe.

Les ouvrages ont été réalisés par la technique de l'Odex, technique utilisée en raison du caractère bouillant des formations et qui permet la mise en place d'un tubage à l'avancement.

Les ouvrages ont été foncés en Ø 165 mm et tubé en acier de Ø 139 mm avec 3 mètres de crépines de chantier à la base.

Dans un premier temps, les ouvrages ont traversé 14 m de colluvions grossières à éléments calcaires anguleux. Une zone d'argile rouge de 3 m d'épaisseur a ensuite été rencontrée au-dessus des formations de galets roulés villafranchiens. La profondeur finale des ouvrages est de 25 m.

On notera que le piézomètre P2 a mis en évidence la présence en fond d'ouvrage de 0.30 m de sables astiens et d'une épaisseur moindre d'argile rouge (2 m).

Une cimentation gravitaire a été effectuée sur 2 m sur tous les ouvrages.

VI – ESSAI DE POMPAGE

Un essai par pompage, d'une durée de 2 jours, 20 heures et 29 minutes, a été réalisé sur le forage F afin de tester l'aquifère contenu dans les alluvions villafranchiennes interceptées.

Dans un premier temps, un essai par pompage par paliers de débit enchaînés a été mené sur le forage F pour le caractériser hydrodynamiquement.

A l'issue du dernier palier, le pompage s'est poursuivi afin de tester l'aquifère des alluvions villafranchiennes.

Ces essais avaient pour objectifs :

- le développement du forage F ;
- la détermination de l'équation caractéristique du forage F ;
- la détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère ;
- l'appréciation du rendement et des possibilités d'exploitation du forage (évolution du rabattement en fonction du débit pompé et estimation de la ressource en eau exploitable) ;
- l'influence du pompage sur la nappe et les ouvrages proches : P1 et P2 ;
- le suivi de la température et de la conductivité des eaux d'exhaure

VI.1. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

- **Conditions** : Hautes eaux.
- **Installateur** : Ent. ROUDIL Forages (NIMES -30).
- **Groupe de pompage** : Pompe immergée 4" à 22 mètres de profondeur.
- **Alimentation électrique** : Groupe électrogène.
- **Point de rejet de l'eau** : A 50 m dans le réseau d'eau pluviale, sans risque de recyclage.
- **Mesure du débit** : Débitmètre électromagnétique Krohne aquaflux 010K associé à un convertisseur IFC 090K relié à une centrale d'acquisition de données numériques DUOSENS d'OTT.
- **Points d'eau contrôlés** : F, P1 et P2. Le suivi sur P3 (ancien sondage géotechnique) a été abandonné faute de réaction sur cet ouvrage.
- **Niveaux initiaux** (m/tête d'ouvrage) :

| | | |
|-------------|--------------|--------------|
| F : 10.60 m | P1 : 10.31 m | P2 : 10.26 m |
|-------------|--------------|--------------|
- **Références** (m/sol) :

| | | |
|-----------|----------|-------------|
| F : 1.1 m | P1 : 1 m | P2 : 0.90 m |
|-----------|----------|-------------|

■ **Distance forage / piézomètre :**

F/P1 : 5.40 m

F/P2 : 47 m

■ **Mesure des niveaux :**

- mesures ponctuelles : limnimètre électrique manuel,
- mesures continues sur F : sonde piézorésistive PTX de Druck qui convertit la pression d'eau en signal électrique par technologie piézorésistive et le conditionne en boucle (4-20 mA). Ce capteur est relié à une centrale d'acquisition et d'enregistrement de données numériques DUOSENS d'OTT,
- mesures continues sur P1 : sonde piézorésistive PTX de Druck qui convertit la pression d'eau en signal électrique par technologie piézorésistive et le conditionne en boucle (0-100 mV). Ce capteur est relié à une centrale d'acquisition et d'enregistrement de données numériques à protocole GSM Octopus d'Hydreka,
- mesures continues sur P2 : sonde piézorésistive PTX de Druck qui convertit la pression d'eau en signal électrique par technologie piézorésistive et le conditionne en boucle (4-20 mA). Ce capteur est relié à une centrale d'acquisition et d'enregistrement de données numériques Mac10 de Paratronic.

■ **Mesure de la conductivité et de la température :** Mesures continues au moyen du conductimètre WTW 3310.

VI.2. POMPAGE PAR PALIERS DE DEBIT

La réalisation d'un forage perturbe l'écoulement des eaux souterraines au voisinage de l'ouvrage. Les pertes de charge induites par ce dernier (crépines, massif filtrant, casing, ...) s'ajoutent à celles dues au magasin dans lequel circule l'eau.

Ce type d'essai a pour objectif de mettre en relation ces deux types de pertes de charge au sein d'une équation qui traduit la qualité de l'ouvrage par rapport à l'aquifère.

VI.2.1 Mise en œuvre

Le forage F a été mis en production à différents débits, appelés paliers de débit, (cf. Figure 5) :

■ **Nombre de paliers : 4.**

■ **Débits :**

- 1^{er} palier : 6.56 m³/h
- 2^{ème} palier : 9.54 m³/h
- 3^{ème} palier : 14.1 m³/h
- 4^{ème} palier : 17.7 m³/h.

■ **Durée des paliers** : 30 minutes.

■ **Temps de remontée** : nul, les paliers ont été enchaînés sauf le dernier palier qui constitue le début de l'essai de longue durée et qu'il convenait de redémarrer avec un niveau sub-stabilisé non influencé.

VI.2.2 Résultats et interprétation

Les valeurs de rabattement à l'issue de chaque palier, ainsi que les débits correspondants sont reportés dans le tableau ci-dessous.

| Paliers | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------|---------------------------|--------|-------|--------|-------|
| Débit | Q (m ³ /h) | 6,56 | 9,54 | 14,1 | 17,7 |
| Rabattement | s (m) | 0,12 | 0,2 | 0,35 | 0,495 |
| Rabattement spécifique | s/Q (m/m ³ /h) | 0,0183 | 0,021 | 0,0248 | 0,028 |

L'exploitation graphique des droites $s/Q = f(Q)$ représentées sur la Figure 5 permet de déterminer l'équation caractéristique suivante :

$$S = 9.10^{-5} Q^2 + 1,27.10^{-3} Q$$

Le coefficient de corrélation est de 99.9 %. Cette équation met en évidence que les pertes de charge de l'ouvrage caractérisées par le terme en Q^2 sont inférieures aux pertes de charge liées à l'écoulement au sein de l'aquifère jusqu'à 15 m³/h et deviennent prépondérantes au-delà.

Une tentative de palier à 19.8 m³/h a été effectuée mais le réseau pluvial a débordé en 15 minutes dans la zone de chantier, ce qui nous a contraints à stopper l'expérience.

VI.3. ESSAI DE POMPAGE DE LONGUE DUREE

A l'issue du dernier palier de débit, le pompage s'est poursuivi au débit moyen de 18.9 m³/h.

VI.3.1 Chronologie

■ **Descente :**

du 14/12/2011 14 h 24 mn
au 17/12/2011 10 h 53 mn
soit 2 jours, 20 heures et 29 minutes.

■ **Remontée :**

du 17/12/2011 10 h 53 mn
au 19/12/2011 16 h 53 mn
soit 2 jours et 6 heures.

VI.3.1 Résultats et interprétation

VI.3.1.1 Descente

L'évolution de la profondeur du plan d'eau dans le forage F et dans les piézomètres P1 et P2 est tracée sur la Figure 4. Sur le piézomètre P3 (ancien ouvrage géotechnique), le suivi a été abandonné au bout de 4 heures compte tenu de l'absence d'évolution du niveau du plan d'eau mesuré.

■ Rabattements maximums :

F : 0.67 m P1 : 0.40 m P2 : 0.12 m

■ Volume extrait du forage : 1 300 m³ environ.

Dans le cadre de cet essai, comme le montre la Figure 4, de nombreux arrêts intempestifs ont eu lieu. Ces arrêts ont été nécessaires pour réparer les conduites défectueuses. Toutefois, il apparaît que l'allure générale de l'évolution du plan d'eau n'en est pas affectée.

On notera sur la fin de l'essai une évolution différente sur P2 alors que jusque-là les évolutions étaient parallèles. En effet, ce piézomètre a permis d'enregistrer une baisse brutale du niveau du plan d'eau puis une remontée importante alors que l'évolution sur F et P1 montre une baisse plus rapide du niveau du plan d'eau.

Ce changement dans l'allure des courbes d'évolution des niveaux n'est pas dû à une variation du débit de pompage mais est probablement la marque d'une action extérieure (pompage ...).

Par ailleurs, l'évolution générale du niveau du plan d'eau met en évidence l'importance de la baisse naturelle de l'aquifère qui atteint 0.11 m sur F et P1 et 0.07 m sur P2.

Le rabattement du plan d'eau a été tracé en fonction du logarithme du temps sur la Figure 6.

Les points s'alignent selon une droite qui permet le calcul d'une valeur de la transmissivité si l'on adopte les hypothèses de traitement relatives au modèle simplifié de Jacob en régime hydrodynamique transitoire et en comparant l'aquifère des alluvions villafranchiennes à un milieu poreux homogène, isotrope et infini :

$$T = 0,183.Q / \Delta s$$

avec : T = Transmissivité (m²/s)
Q = Débit (m³/s)
 Δs = Rabattement sur un cycle log (m)

$$\begin{aligned} TF &= 2.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \\ TP1 &= 4,5.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \\ TP2 &= 1,3.10^{-1} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

On notera que ces valeurs de transmissivité sont très élevées. Toutefois, la forte différence entre les valeurs de F et P1 et celle de P2 peut s'expliquer par l'effet de la décrue qui diminue artificiellement les valeurs calculées sur F et P1.

Le graphique obtenu à partir du report des rabattements sur le piézomètre P2 (cf. Figure 6) permet, par extrapolation graphique, le calcul du coefficient d'emmagasinement :

$$S = 2.25 T t_0 / r^2$$

avec : S = Coefficient d'emmagasinement

T = Transmissivité (m²/s)

t₀ = Abscisse à l'origine

r = Distance forage – piézomètre

$$S = 2.10^{-3}$$

La valeur de ce coefficient est caractéristique d'une nappe semi-captive à captive ce qui est cohérent avec la présence d'argiles au-dessus des alluvions villafranchiennes et le niveau statique du plan d'eau.

VI.3.1.2 Remontée

La remontée a été portée sur diagramme semi-logarithmique en fonction d'une expression mettant en relation la durée du pompage et le temps écoulé depuis l'arrêt de celui-ci (cf. Figure 7).

Les points s'alignent selon une droite dont la pente permet le calcul de transmissivité par l'application de la méthode simplifiée de Jacob :

$$T = 0.183.Q / \Delta s$$

avec : T = Transmissivité (m²/s)

Q = Débit (m³/s)

Δ s = Rabattement sur un cycle log (m)

$$0.12 \text{ m}^2/\text{s} < T < 0.18 \text{ m}^2/\text{s}$$

Ces valeurs très élevées sont cohérentes avec la valeur déterminée sur P2 lors de la descente.

On peut considérer que la transmissivité moyenne de l'aquifère dans le secteur est :

$$0.10 \text{ m}^2/\text{s} < T < 0.2 \text{ m}^2/\text{s}$$

Ces valeurs sont très élevées et au moins dix fois supérieures à ce que l'on observe habituellement dans l'aquifère villafranchien. Il conviendra donc de les utiliser avec précautions dans d'éventuels calculs.

VII – QUALITE DE L'EAU

Des mesures de la conductivité et de la température ont été réalisées en continu au cours de l'essai par pompage, certaines valeurs sont données dans le tableau suivant :

| Date | 14/12/2011 | 15/12/2011 | 16/12/2011 | 17/12/2011 |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Heure | 14 h 30 | 14 h 30 | 14 h 30 | 10 h 30 |
| Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 680 | 687 | 689 | 689 |
| Température ($^{\circ}\text{C}$) | 16,6 | 16,6 | 16,7 | 16,6 |

Les chroniques complètes sont représentées sous forme graphique sur la Figure 8.

La température de l'eau varie peu au cours de l'essai mais est légèrement affectée par la température extérieure et semblerait décroître faiblement.

En ce qui concerne la conductivité, il apparaît une baisse importante en début d'essai mais que l'on imputera à l'arrêt de l'alimentation du système de mesure durant les manœuvres sur les conduites. Durant le reste du suivi, la conductivité des eaux a légèrement augmentée pour tendre vers une valeur de $689 \mu\text{S}/\text{cm}$.

VIII – PROPOSITION D'EXPLOITATION

Les essais par pompage menés sur le site du futur Musée de la Romanité ont montré le bon potentiel de l'aquifère des alluvions villafranchiennes sous les formations de couverture.

Le rabattement négligeable pour un débit de $18.9 \text{ m}^3/\text{h}$ eu égard à la tranche d'eau disponible souligne ce fort potentiel de production. On soulignera enfin la température quasi-stable de ses eaux à 16.7°C .

Dans le cadre de l'utilisation de cet aquifère en géothermie, il sera nécessaire de disposer le puits d'injection le plus loin possible du puits de prélèvement en positionnant ce dernier en amont afin de limiter au maximum le risque de recyclage des eaux.

Les capacités d'absorption de l'ouvrage d'injection devront être vérifiées en fonction du débit de pompage souhaité.

Un nivellement des ouvrages permettra de confirmer rapidement le sens des écoulements qui doit globalement être Nord-Sud.

Il serait souhaitable de réaliser des ouvrages d'exploitation de plus gros diamètre mais dans le cas où un des ouvrages actuel serait utilisé pour le prélèvement, la pompe pourra être placée à 20 m de profondeur et pourra fournir un débit d'une vingtaine de m^3/h avec un niveau dynamique vers 12 m de profondeur.

IX – CONCLUSION

L'essai par pompage mené sur l'aquifère des alluvions villafranchiennes au droit du futur musée de la Romanité a montré la présence d'un aquifère à fort potentiel de production ($> 20 \text{ m}^3/\text{h}$).

La température des eaux d'exhaure est relativement stable.

Dans le cadre de l'utilisation dans un doublet géothermique, il sera nécessaire de limiter les effets de recyclages des eaux en positionnant le puits d'injection à l'aval hydraulique du puits de prélèvement.



Nous restons à la disposition de la Mairie pour réaliser toutes missions complémentaires de reconnaissance, études et suivi d'exécution.

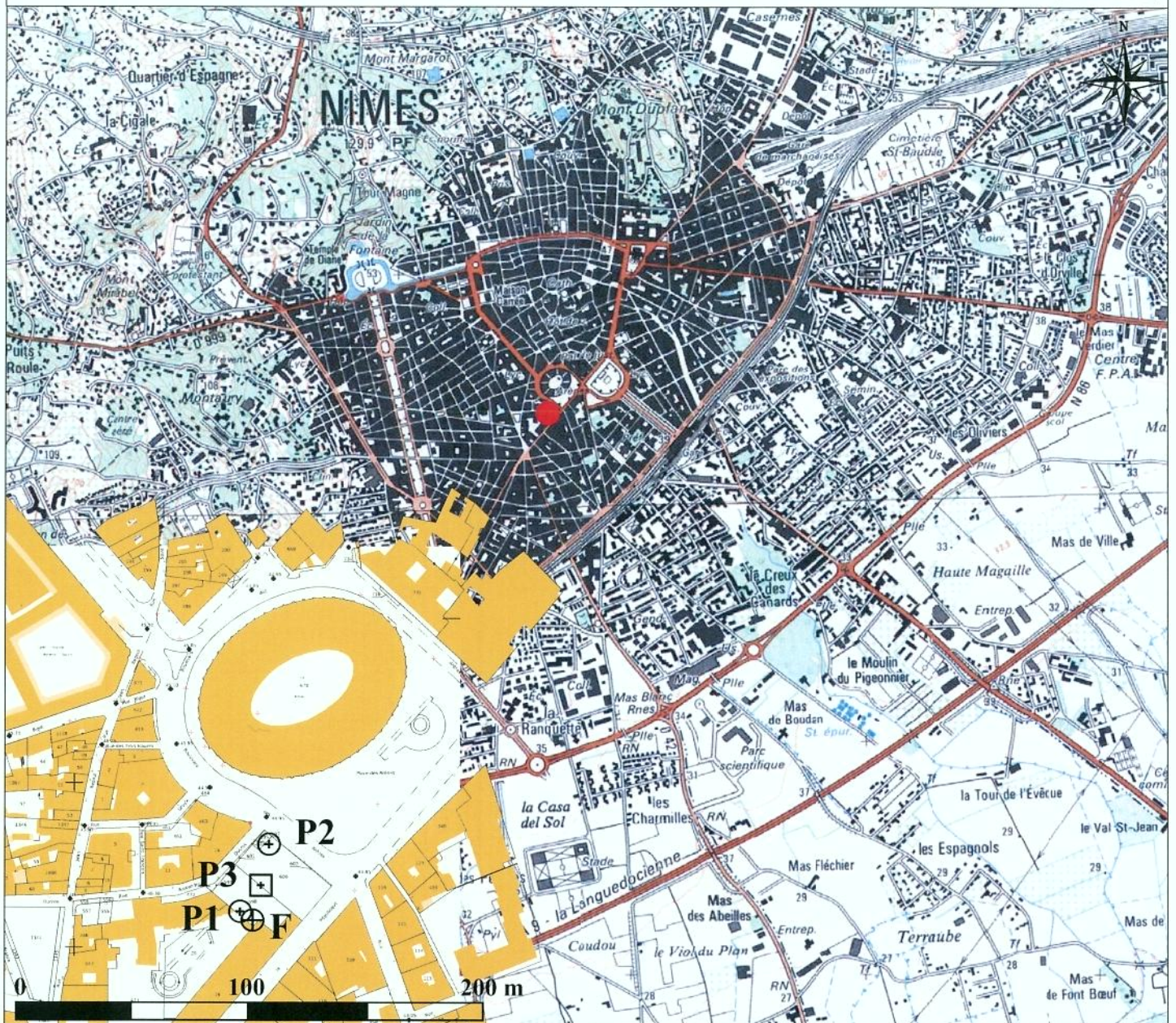
| | |
|---|---------------|
| FIGURES | 17 |
| Figure 1 : Situation géographique | 18 |
| Figure 2 : Situation géologique | 19 |
| Figure 3 : Coupe géologique et technique du puits de pompage F | 20 |
| Figure 4 : Essai de pompage longue durée | 21 |
| Figure 5 : Essai de pompage par paliers de débit | 22 |
| Figure 6 : Courbes de rabattement à la descente | 23 |
| Figure 7 : Courbes de rabattement à la remontée | 24 |
| Figure 8 : Evolution de la qualité des eaux d'exhaure | 25 |
| ANNEXES | 26 |
| Coupe géologique et technique des piézomètres P1 et P2 | 27 - 28 |
| Extrait norme NF P94-500 de décembre 2006 (classification des missions géotechniques) | 29 - 30 |

Dossier n° 11-339-C
NIMES (30)
Musée de la Romanité
Essai de pompage
Mission G12

FIGURES

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

1



EXTRAIT DES CARTES NUMÉRISÉES DE L'IGN AU 1/25 000

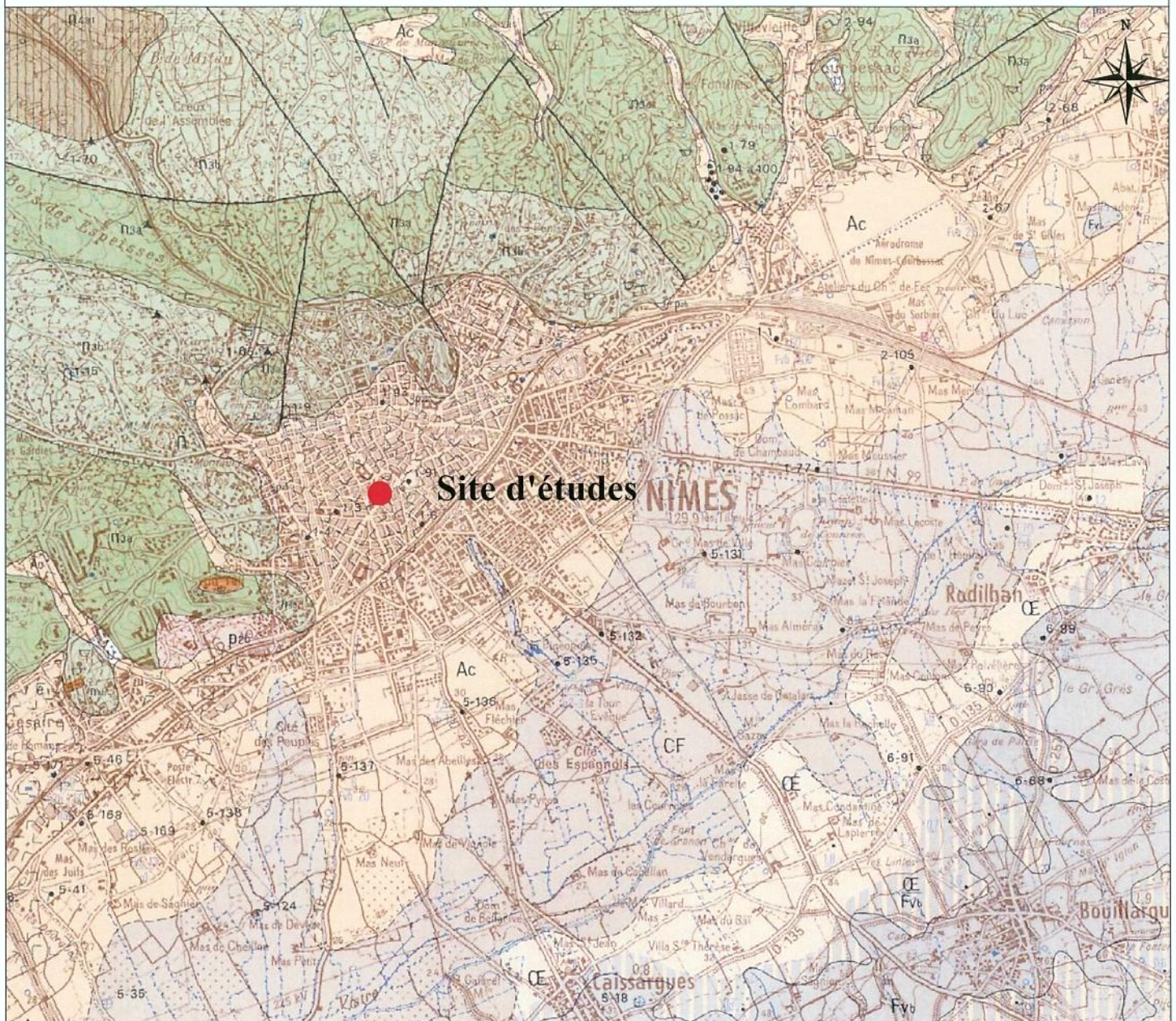
EXTRAIT DU PLAN CADASTRAL DE NÎMES AU 1/2 500

- Site d'études
- ⊕ Forage
- ⊙ Piézomètre
- + Ancien piézomètre géotechnique

0 1 2 km

SITUATION GÉOLOGIQUE

2



EXTRAIT DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DU BRGM N°965 NÎMES AU 1/50 000

● Site d'études

Formations détritiques de couverture:

| |
|--------|
| CF |
| 1 Ac 2 |
| 1 OE 2 |

CF essentiellement limons
Ac colluvions calcaires
OE formation loessique

| |
|----|
| Fv |
|----|

Alluvions villafranchiennes:
Galets, graviers et sables

| |
|-----|
| p2b |
|-----|

Pliocène sup.:
Sables et brèches

Éocène:

| |
|-----|
| e7 |
| e14 |

Argiles rouges, grès et calcaires lacustres
Sables, grès et argiles bariolées

| |
|------|
| n4a1 |
|------|

Barrémien inf.:

Calcaires à chailles et marnes

| |
|-----|
| n3b |
|-----|

Hauterivien sup.:



Calcaires

| |
|-----|
| n3a |
|-----|

Hauterivien inf.:

Calcaires et calcaires marneux



| PROFIL GÉOLOGIQUE | | | PROFIL TECHNIQUE | | |
|-------------------|--|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| H (m) | Lithologie | Stratigraphie | Fonçage | Coupe technique | Tubage |
| 0 |  <p>Colluvions calcaires</p> <p>Argiles rouges</p> <p>Galets roulés dans matrice sablo-argileuse rougeâtre</p> | <p>Quaternaire récent</p> <p>Villafranchien</p> | 0 m |  <p>NS = 10,6 m le 14/12/2011</p> | Cimentation gravitaire de 0 à 2 m |
| 5 | | | 2 m | | |
| 10 | | | Odex Ø 165 mm de 0 à 25 m | | Acier Ø 139 mm de 0 à 25 m |
| 15 | | | | | |
| 20 | | | 22 m | | Crépines fentes chantier de 22 à 25 m |
| 25 | | | 25 m | | |

Recherche d'eau potable. Travaux réalisés par l'entreprise ROUDIL Forages (Nîmes - 30) du 28/11 au 02/12/2011.
Débit instantané > 10 m³/h.

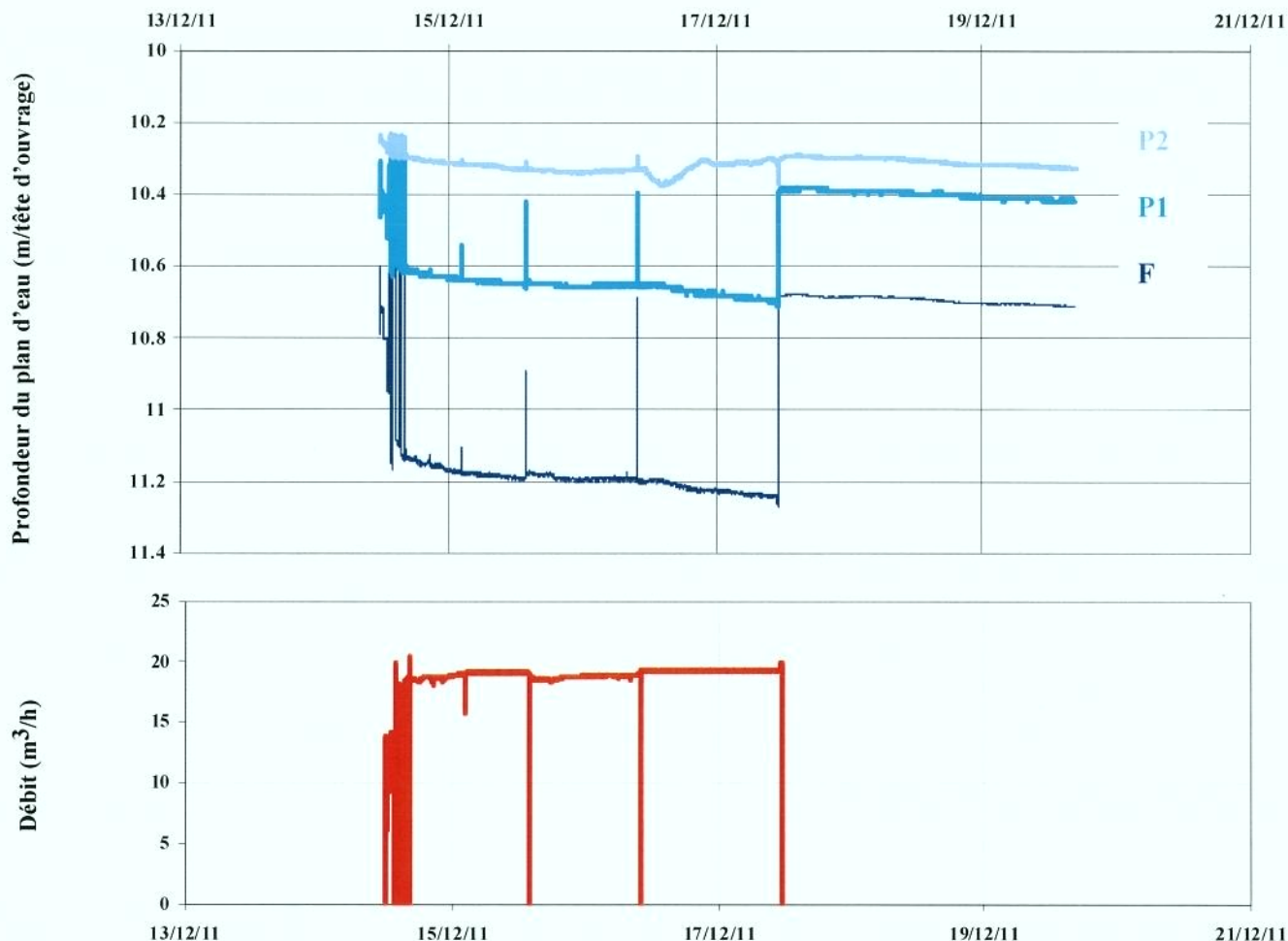
ESSAI PAR POMPAGE SUR F

- Nîmes (30) – Musée de la Romanité

Du 14 au 17 décembre 2011

4

ÉVOLUTION DU NIVEAU DU PLAN D'EAU DANS LE FORAGE F ET LES PIÉZOMÈTRES P1 ET P2 EN FONCTION DES PRÉLÈVEMENTS



Débits moyens : 18,9 m³/h

Niveaux initiaux : (m/ tête d'ouvrage)

Sur F : 10,60 m

Sur P1 : 10,31 m

Sur P2 : 10,26 m

Rabatement maximaux :

Sur F : 0,67 m

Sur P1 : 0,40 m

Sur P2 : 0,12 m

Temps de pompage : 2 jours, 20 heures et 29 minutes

Temps de remontée : 3 jours et 6 heures

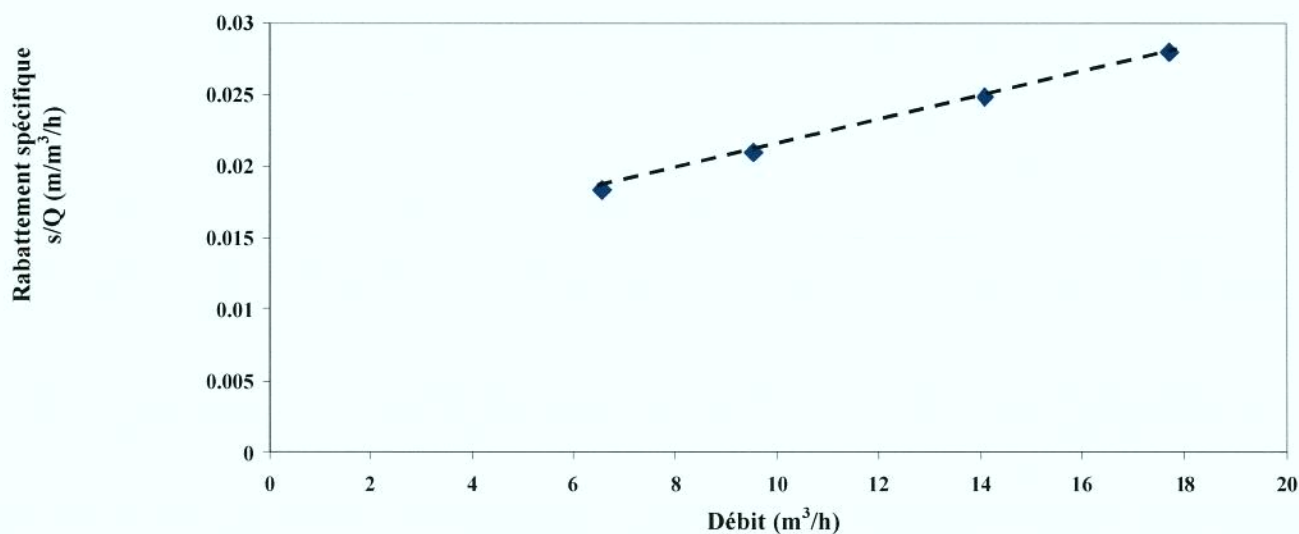
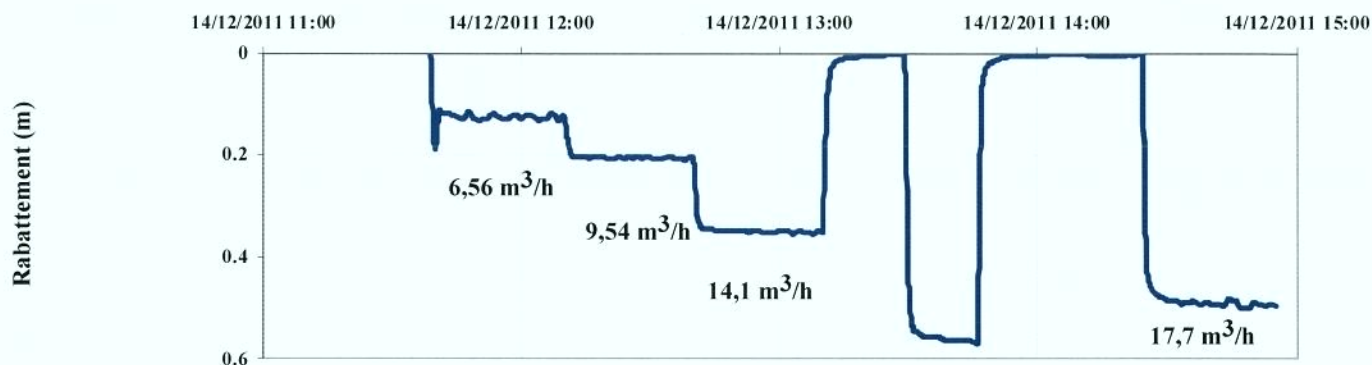
ESSAI PAR PALIERS DE DÉBIT SUR F

5

- Nîmes (30) - Musée de la Romanité

Le 14 décembre 2011

ÉVOLUTION DU NIVEAU DU PLAN D'EAU SUR F EN FONCTION DES DÉBITS
DROITE CARACTÉRISTIQUE DU FORAGE F : $s/Q = f(Q)$



| Paliers | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|-----------------------------|--------|-------|--------|-------|
| Débit | Q (m ³ /h) | 6,56 | 9,54 | 14,1 | 17,7 |
| Rabatement | s (m) | 0,12 | 0,2 | 0,35 | 0,495 |
| Rabatement spécifique | s/Q [m/(m ³ /h)] | 0,0183 | 0,021 | 0,0248 | 0,028 |

Équation de la droite caractéristique du forage F :
[coefficient de corrélation ($R^2=0,99$)]

$$s = 9.10^{-5} Q^2 + 1,27.10^{-3} Q$$

ESSAI PAR POMPAGE SUR F

- Nîmes (30) – Musée de la Romanité

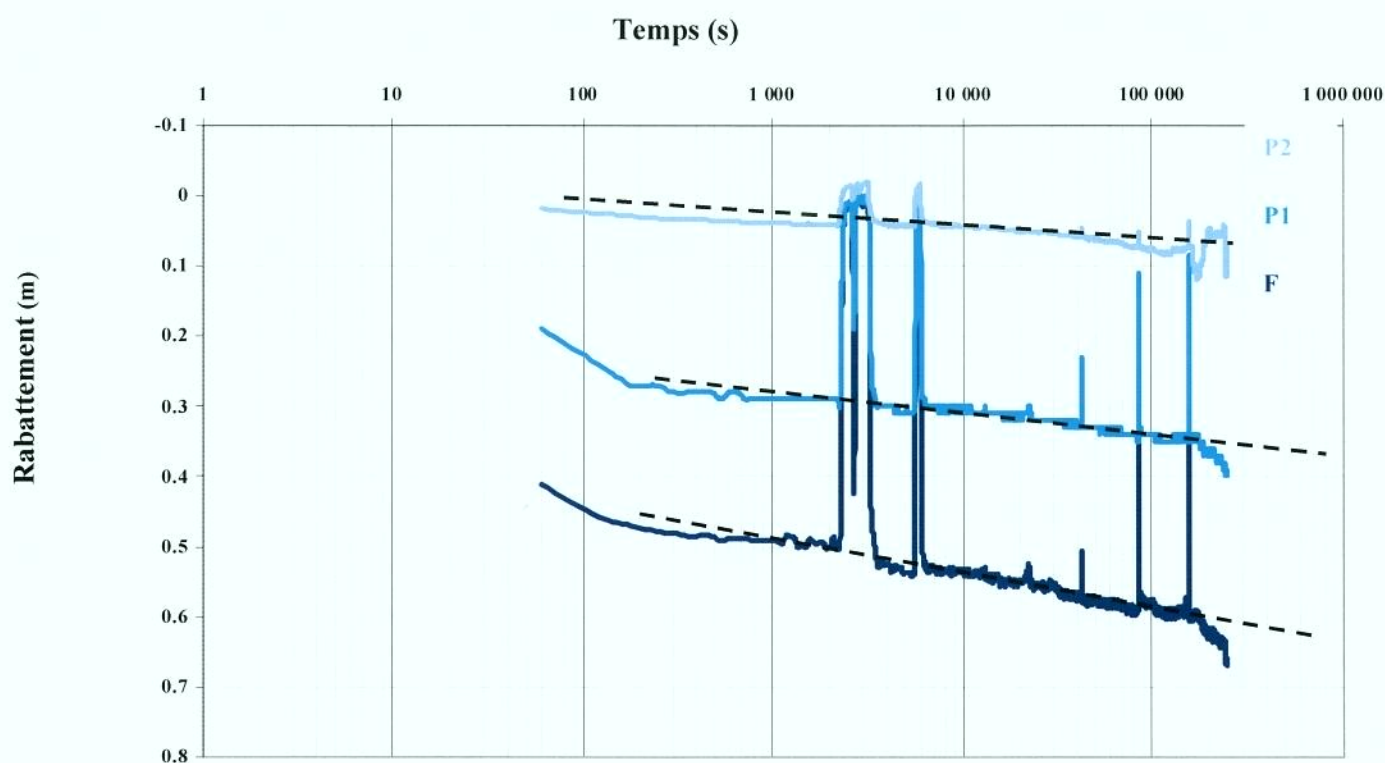
Du 14 au 17 décembre 2011

6

VALEURS MESURÉES SUR F, P1 et P2

DESCENTE

Graphe $s = f(\log(t))$



AQUIFÈRE : Alluvions villafranchiennes

RÉSULTATS DE L'INTERPRÉTATION DE LA COURBE DE DESCENTE MÉTHODE DE THEIS – JACOB

(Débit moyen = $18,9 \text{ m}^3/\text{h}$)

Transmissivité :

$$T_F = 2.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_{P1} = 4,5.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_{P2} = 1,3.10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$$

ESSAI PAR POMPAGE SUR F

- Nîmes (30) – Musée de la Romanité

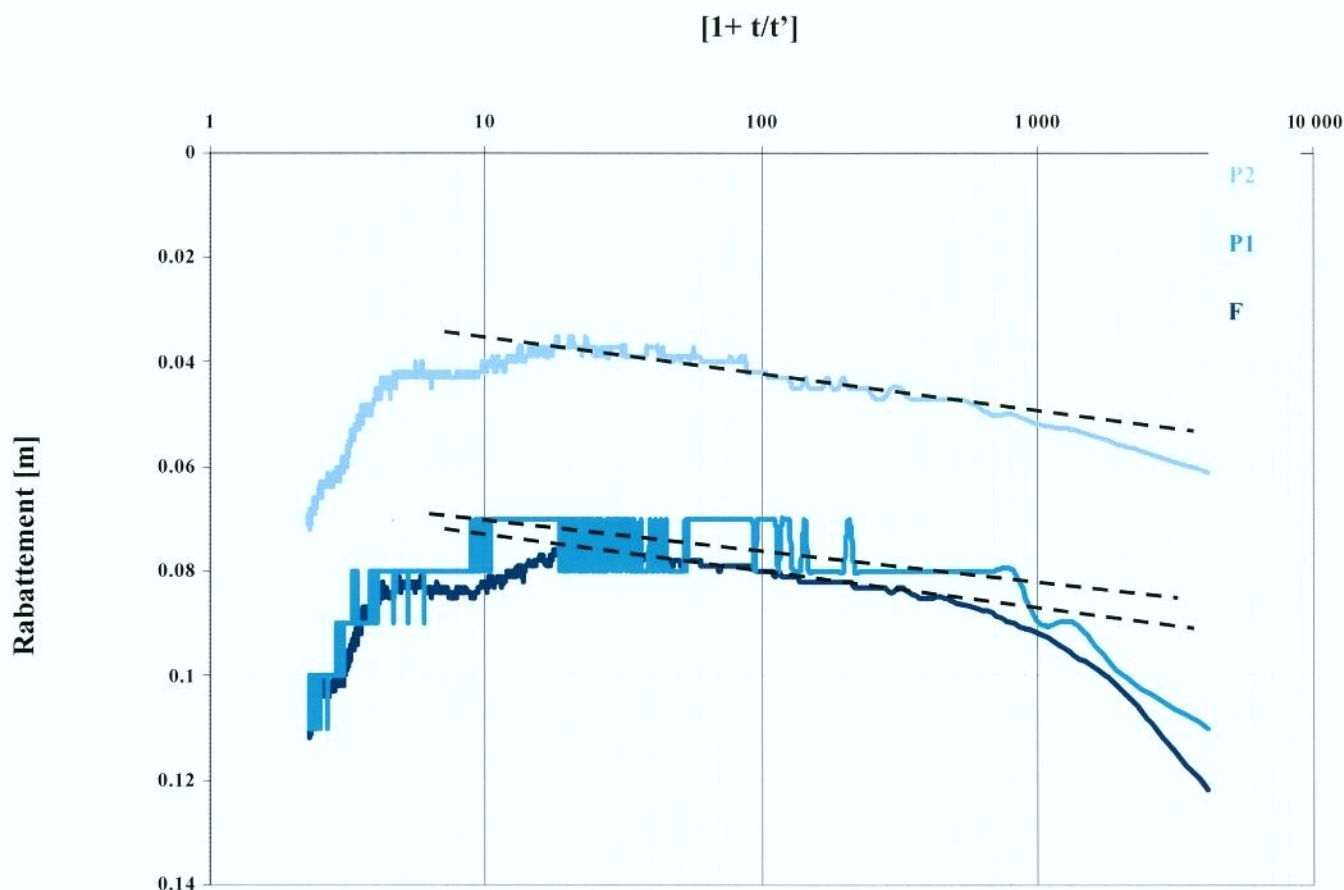
Du 14 au 17 décembre 2011

7

VALEURS MESURÉES SUR F, P1 et P2

REMONTÉE

Graphe $s = f(\log(1+t/t'))$



t : temps de pompage, t' : temps de remontée

AQUIFÈRE : Alluvion Villafranchienne

RÉSULTATS DE L'INTERPRÉTATION DE LA COURBE DE REMONTÉE
MÉTHODE DE THEIS – JACOB
(Débit moyen = 18,9 m³/h)

Transmissivité :

0,12 m²/s < T < 0,18 m²/s

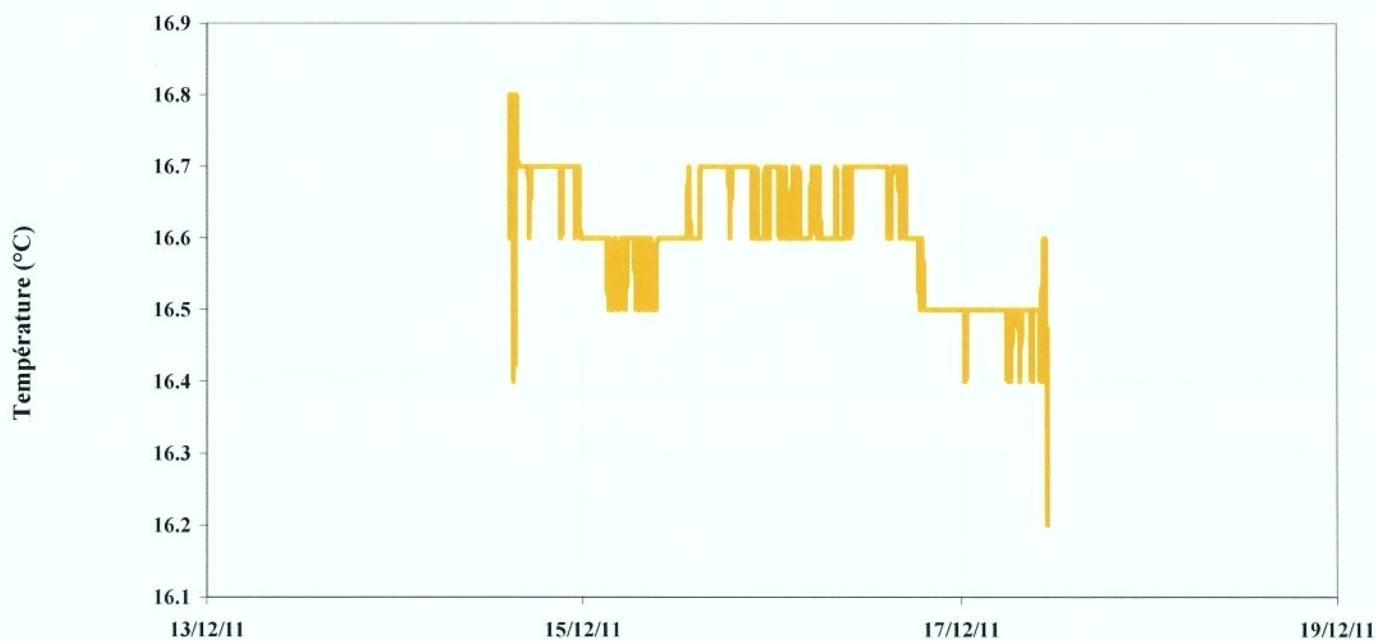
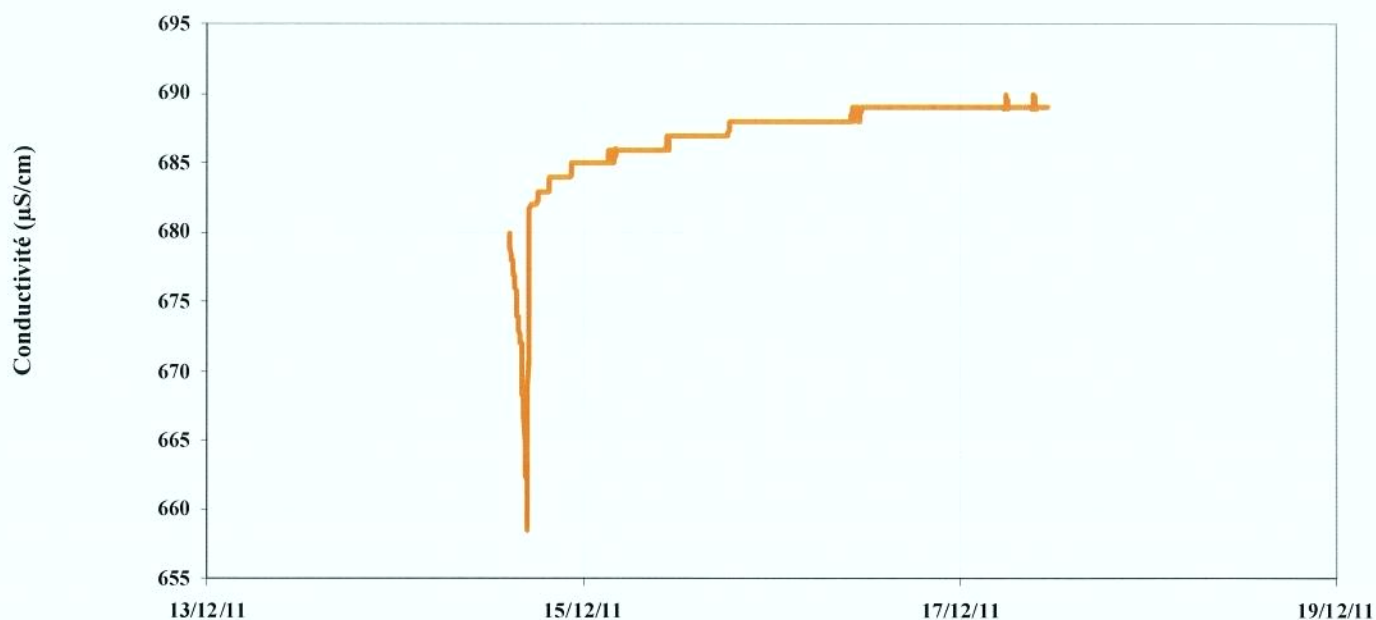
ESSAI PAR POMPAGE SUR F

- Nîmes (30) – Musée de la Romanité

Du 11 au 17 décembre 2011

ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DES EAUX D'EXHAURE

8




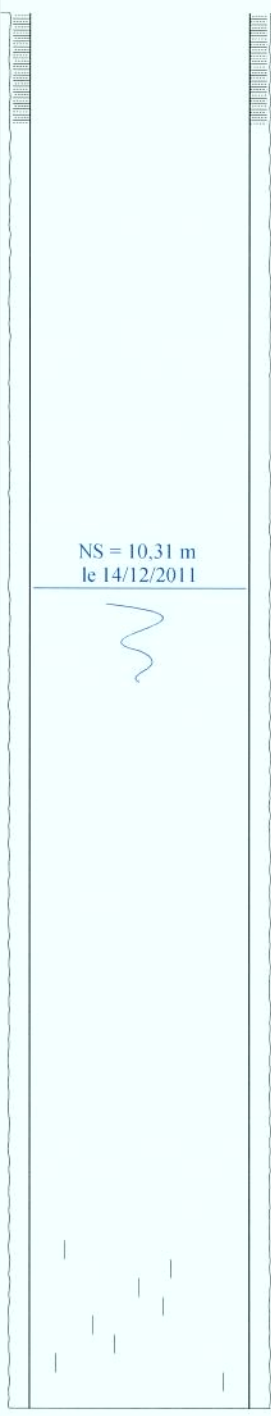
Dossier n° 11-339-C
NIMES (30)
Musée de la Romanité
Essai de pompage
Mission G12

ANNEXES

NÎMES (30) - Musée de la Romanité

Ll1e : x = 762,854 y = 1 872,327 z = 45

P1


| PROFIL GÉOLOGIQUE | | | PROFIL TECHNIQUE | | |
|-------------------|--|---|--|--|---|
| H (m) | Lithologie | Stratigraphie | Fonçage | Coupe technique | Tubage |
| 0 |  <p>Colluvions calcaires</p> <p>Argiles rouges</p> <p>Galets roulés dans matrice sablo-argileuse rougeâtre</p> | <p>Quaternaire récent</p> <p>Villafranchien</p> | <p>0 m</p> <p>2 m</p> <p>NS = 10,31 m le 14/12/2011</p> <p>Odex Ø 165 mm de 0 à 25 m</p> <p>22 m</p> <p>25 m</p> |  | <p>Cimentation gravitaire de 0 à 2 m</p> <p>Acier Ø 139 mm de 0 à 25 m</p> <p>Crépines fentes chantier de 22 à 25 m</p> |
| 5 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 15 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 25 | | | | | |

Réalisation d'un piézomètre. Travaux réalisés par l'entreprise ROUDIL Forages (Nîmes - 30) du 28/11 au 02/12/2011.
Débit instantané > 10 m³/h.

NÎMES (30) - Musée de la Romanité

Llre : x = 762,965 y = 1 872,367 z = 45

P2

| PROFIL GÉOLOGIQUE | | | PROFIL TECHNIQUE | | |
|-------------------|--|--------------------|---|-----------------|--------|
| H (m) | Lithologie | Stratigraphie | Fonçage | Coupe technique | Tubage |
| 0 |  <p>Colluvions calcaires</p> <p>Argiles rouges</p> <p>Galets roulés dans matrice sablo-argileuse rougeâtre</p> <p>Sables fins jaunes</p> | Quaternaire récent | <p>0 m</p> <p>2 m</p> | | |

Réalisation d'un piézomètre. Travaux réalisés par l'entreprise ROUDIL Forages (Nîmes - 30) du 29/11 au 02/12/2011.
Débit instantané > 10 m³/h.

CLASSIFICATION DES MISSIONS TYPES D'INGÉNIEURIE GÉOTECHNIQUE

(Tableau 2 de la norme NF P 94-500 du 5 décembre 2006)

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique doit suivre les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géologiques. Chaque mission s'appuie sur des investigations géotechniques spécifiques. Il appartient au maître d'ouvrage ou à son mandataire de veiller à la réalisation successive de toutes ces missions par une ingénierie géotechnique.

ÉTAPE 1 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES PREALABLES (G1)

Ces missions excluent toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre d'une mission d'étude géotechnique de projet (étape 2). Elles sont normalement à la charge du maître d'ouvrage.

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE (G11)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire ou d'esquisse et permet une première identification des risques géologiques d'un site :

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport avec un modèle géologique préliminaire, certains principes généraux d'adaptation du projet au site et une première identification des risques.

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE D'AVANT PROJET (G12)

Elle est réalisée au stade de l'avant projet et permet de réduire les conséquences des risques géologiques majeurs identifiés :

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, certains principes généraux de construction (notamment terrassements, soutènements, fondations, risques de déformation des terrains, dispositions générales vis-à-vis des nappes et avoisinants).

Cette étude sera obligatoirement complétée lors de l'étude géotechnique de projet (étape 2).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE PROJET (G2)

Elle est réalisée pour définir le projet des ouvrages géotechniques et permet de réduire les conséquences des risques géologiques importants identifiés. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage et peut être intégrée à la mission de maîtrise d'œuvre générale.

Phase Projet

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir une synthèse actualisée du site et les notes techniques donnant les méthodes d'exécution proposées pour les ouvrages géotechniques (notamment terrassements, soutènements, fondations, dispositions vis-à-vis des nappes et avoisinants) et les valeurs seuils associées, certaines notes de calcul de dimensionnement niveau projet.
- Fournir une approche des quantités/délais/coûts d'exécution de ces ouvrages géotechniques et une identification des conséquences des risques géologiques résiduels.

Phase Assistance aux Contrats de Travaux

- Établir les documents nécessaires à la consultation des entreprises pour l'exécution des ouvrages géotechniques (plans, notices techniques, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister le client pour la sélection des entreprises et l'analyse technique des offres

ÉTAPE 3 : EXÉCUTION DES OUVRAGES GÉOTECHNIQUE (G3 et G4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXÉCUTION (G3)

Se déroulant en 2 phases interactives et indissociables, elle permet de réduire les risques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures d'adaptation ou d'optimisation. Elle est normalement confiée à l'entrepreneur.

Phase Étude

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment validation des hypothèses géotechniques, définition et dimensionnement (calculs justificatifs), méthodes et conditions d'exécution (phasages, suivis, contrôles, auscultations en fonction des valeurs seuils associées, dispositions constructives complémentaires éventuelles), élaborer le dossier géotechnique d'exécution.

Phase Suivi

- Suivre le programme d'auscultation et l'exécution des ouvrages géotechniques, déclencher si nécessaire les dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des excavations et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Participer à l'établissement du dossier de fin de travaux et des recommandations de maintenance des ouvrages géotechniques.

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION (G4)

Elle permet de vérifier la conformité aux objectifs du projet, de l'étude et du suivi géotechniques d'exécution. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage.

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Avis sur l'étude géotechnique d'exécution, sur les adaptations ou optimisations potentielles des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, sur le programme d'auscultation et les valeurs seuils associées.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Avis, par interventions ponctuelles sur le chantier, sur le contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur, sur le comportement observé de l'ouvrage et des avoisinants concernés et sur l'adaptation ou l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
 - Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, rabattement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans d'autres éléments géotechniques.
- Des études géotechniques de projet et/ou d'exécution, de suivi et supervision, doivent être réalisées ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique, si ce diagnostic conduit à modifier ou réaliser des travaux.

SCHÉMA D'ENCHAÎNEMENT DES MISSIONS TYPES D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE

(Tableau 1 de la norme NF P 94-500 du 5 décembre 2006)

| ÉTAPE | PHASE D'AVANCEMENT DU PROJET | MISSION D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE | OBJECTIFS EN TERMES DE GESTION DES RISQUES LIES AUX ALEAS GEOTECHNIQUES | PRESTATIONS D'INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES |
|--|--|---|---|--|
| 1 | Étude préliminaire Étude d'esquisse | Étude géotechnique préliminaire du site (G11) | Première identification des risques | Fonction des données existantes |
| | Avant-projet | Étude géotechnique d'avant-projet (G12) | Identification des aléas majeurs et principes généraux pour en limiter les conséquences | Fonction des données existantes et de l'avant-projet |
| 2 | Projet Assistance aux Contrats de Travaux (ACT) | Étude géotechnique de projet (G2) | Identification des aléas importants et dispositions pour en réduire les conséquences | Fonction des choix constructifs |
| 3 | Exécution | Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) | Identification des aléas résiduels pour en limiter les conséquences | Fonction des méthodes de construction mises en œuvre |
| | | Supervision géotechnique d'exécution (G4) | | Fonction des conditions rencontrées à l'exécution |
| Cas particulier | Étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques | Diagnostic géotechnique (G5) | Analyse des risques liés à ces éléments géotechniques | Fonction de la spécificité des éléments étudiés |
| * NOTE À définir par l'ingénierie géotechnique chargée de la mission correspondante. | | | | |