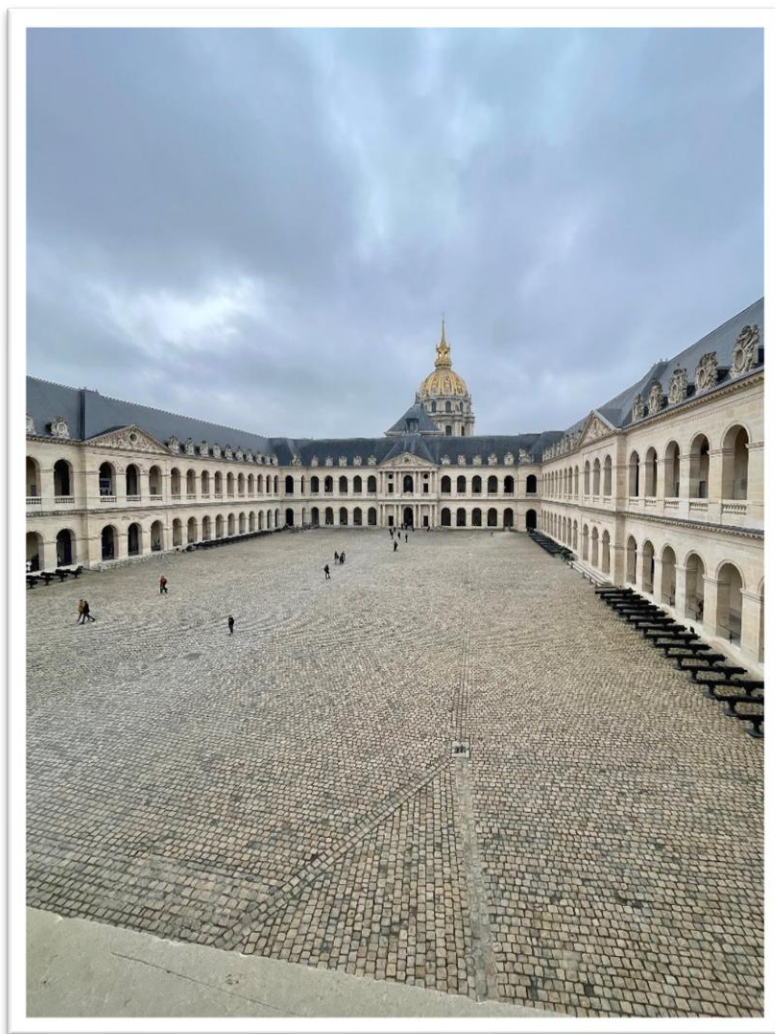


ESID / PARIS

# Hôtel National des Invalides



## Réfection de la Cour d'Honneur

Accessibilité aux engins de secours et  
aménagement des cheminements PSH

*Phase PRO/DCE*

## Table des matières

I. ETAT DES LIEUX .....	3
II. ETUDES GEOTECHNIQUES.....	3
2.1. DONNEES INITIALES .....	3
2.2. CONCLUSION DE L'ETUDE G2AVP.....	4
2.3. PARAMETRES DE CALCUL .....	4
2.3.1. Le trafic poids lourds.....	4
2.3.2. L'état des sols naturels en place.....	4
2.4. DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE DE FORME .....	4
2.5. DETAILS DE LA COUCHE DE SURFACE .....	5
2.6. POINTS PARTICULIERS .....	5
III. MODE OPERATOIRE POUR LE PAVAGE .....	6
3.1. TYPE DE PAVES.....	6
3.2. METHODOLOGIE DE POSE .....	6
IV. GESTION DES EAUX PLUVIALES .....	7
4.1. DONNEES D'ENTREES.....	7
4.1.1. Gestion actuelle .....	7
4.1.2. Coefficient MONTANA et occurrence.....	7
4.1.3. Coefficients de ruissellement.....	8
4.2. PROJET ET CALCULS .....	8
4.2.1. Projet .....	8
4.2.2. Principe de Calcul .....	9
4.2.3. Calculs.....	9
4.2.4. Estimation de la future gestion des eaux pluviales .....	9
4.2.5. Compléments d'informations suite au projet .....	10
V. ANNEXES .....	10
A-1 Plan de synthèse « topographie et réseaux ».....	10
A-2 Coupes techniques des structures.....	10
A-3 Plan des réseaux EP projetés .....	10

## I. ETAT DES LIEUX

Les objectifs du projet sur la cour d'honneur des Invalides sont les suivants :

- Le renforcement de la portance de la structure du site pour l'intervention d'engins de secours lourds.
- La mise en accessibilité pour tous des itinéraires d'accès piétons.
- L'amélioration de la gestion des eaux pluviales.

Selon le schéma directeur incendie de l'ESID, la portance sur le site est en grande partie insuffisante.

Le revêtement actuel est constitué essentiellement de pavés pour une superficie totale de 6500 m<sup>2</sup> environ, il est considéré inconfortable pour les personnes à mobilité réduite.

Les eaux pluviales de surface sont collectées par des grilles-avaloirs raccordées au réseau existant sous la zone d'étude.

Des eaux de toitures sont également récoltées, rejetées directement sur les pavés et recueillies dans les caniveaux, cette surface de ruissèlement est évaluée à 2500 m<sup>2</sup>.

Il est prévu la réfection complète des revêtements de surface, y compris la reprise des couches de forme et d'assise ainsi que le principe de collecte des eaux pluviales.

Un plan topographique, deux relevés de géodetecion des réseaux et une étude géotechnique G2 AVP ont été fournis par la maitrise d'ouvrage.

*Plan de synthèse « topographie et réseaux » joint en annexe.*

## II. ETUDES GEOTECHNIQUES

A l'issue de ces prises d'informations, Cap Vert Ingénierie a étudié l'amélioration et l'uniformisation de la portance des sols de la cour.

### 2.1. DONNÉES INITIALES

Le dimensionnement des structures de chaussée a été établi à partir des études géotechniques et des besoins du site :

- campagne de tests de portance (ABROTEC n°PA12-8335 du 18/02/2012 et ABROTEC n°PA12-8623 du 07/02/2013),
- campagne de classement de plateforme (NEOPRISM n°14.04.1554 du 27/10/2014),
- diagnostic géotechnique sous le porche (ISROG n°AF.2019.03.040 du 25/09/2019),
- étude géotechnique de conception G2 AVP (SOL PROJET n° E.24.5543 du 06/06/2024),
- le trafic et la vocation de la voie (desserte du site, voies-échelles, cheminements PSH),
- l'état des sols en place.

## 2.2. CONCLUSION DE L'ÉTUDE G2AVP

Les relevés techniques ont démontré un sol relativement compact mais avec un comportement géomécanique hétérogène générant des risques de tassements et de déformation.

Sol Projet préconise donc :

- Le décapage du sol en place sous les pavés sur une épaisseur de 80cm.
- Le compactage soigné de l'arase avec un EV2 >35 MPa.
- La réalisation d'une couche de forme en grave (D21 et/ou D31) sur 60cm d'épaisseur, en 3 couches, séparées par du géotextile de renforcement.
- Une plateforme finale avec les caractéristiques suivantes :
  - EV2 > 80 MPa
  - Kw > 50 MPa
  - EV2/EV1 < 2,2.

## 2.3. PARAMETRES DE CALCUL

Le dimensionnement d'une voirie dépend de plusieurs paramètres.

Dans le cas de la Cour d'Honneur, les paramètres pris en compte sont :

### 2.3.1. Le trafic poids lourds

Les structures de chaussées sont toujours dimensionnées en fonction du trafic de poids lourds, car ce sont ces derniers qui ont l'effet le plus significatif sur les chaussées.

Les poids-lourds ciblés par ce projet sont ceux liés aux livraisons, à l'évènementiel et aux secours (camion EPA notamment).

Pour le site HNI, la classe de trafic prise en compte dans le dimensionnement est une classe de trafic T5 (de 0 à 25 PL/j/sens).

A noter qu'une attention particulière sera apportée sur la résistance du sol au poinçonnement des stabilisateurs.

### 2.3.2. L'état des sols naturels en place

Le rapport d'ABROTEC sur l'auscultation de voirie du site préconise une reconstitution de la couche de forme par apport de matériaux sélectionnés après purge des argiles plastiques rencontrées lors des sondages.

Cette préconisation est validée par l'étude récente de Sol Projet.

## 2.4. DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE DE FORME

Il s'agit de la partie située entre la partie supérieure de terrassement (PST) et le corps de chaussée. Elle absorbe les plus grosses contraintes de charge.

Afin d'obtenir une plateforme de classe PF2+ ou PF2qs sur la couche de forme, il est préconisé l'obtention d'une arase de terrassement AR1 en amont avec la volonté d'avoir une portance supérieure ou égale à 35 Mpa.

L'épaisseur de grave naturelle traitée à mettre en place pour obtenir une plateforme PF2+ à partir d'une arase AR1, avec une PST n°2 comportant des matériaux de support sensibles est de 60 cm avec un géotextile.

Nous proposons de remplacer la GNT, issus de carrière, par une grave à liants hydrauliques routiers (grave LHR).

Ce matériau permet de réduire l'épaisseur de la couche de forme de 60 à 41 cm et donc de réduire le volume de déblais excavés de la cour. De plus, la réduction de cette épaisseur permet d'atténuer les risques de dégradation de réseaux superficiels pouvant être présent à cette profondeur.

Cette couche de forme, ainsi constituée, assurera une portance comprise entre 80 et 120 MPa, une résistance vis-à-vis de l'ornierage et une faible déflexion lors de passage d'essieu de 13t.

Ce sol résistera aussi à un poinçonnement conséquent, une portance de 80 MPa s'assimile à un poinçonnement de  $8\text{KN/cm}^2$ , or les valeurs données par le SDIS pour leurs engins (notamment le BEA 42m) est de  $80\text{N/cm}^2$  soit  $0,08\text{KN/cm}^2$ .

## 2.5. DETAILS DE LA COUCHE DE SURFACE

Le revêtement de la cour sera constitué de pavés en grès de Fontainebleau posés sur un lit de mortier hydraulique de 4 cm, lui-même soutenu par une couche d'assise en béton de 15 cm.

Les joints indispensables (joints de retrait, de dilatation et d'isolement) devront être réalisés conformément à la norme NF P 98-335 associé.

L'assise en béton (type C25/30/XF1/G3/S2) devra avoir le même profil que le revêtement final afin de permettre la mise en œuvre du lit de pose à épaisseur régulière.

Elle ne doit pas présenter de défauts de planéité qui impliqueraient localement des sous ou surépaisseurs du lit de pose. L'assise devra être réglée avec une précision de 0 à 2 cm.

Les joints entre pavés seront rigides, en mortier de chaux et feront 2 à 3 cm de large, ils devront avoir un ton pierre avec matière et être homogène en teinte.

A noter que l'étude géotechnique sous la galerie d'accès Nord nous montre que la portance du sol est suffisante à cet endroit. La réfection complète de la couche de forme n'est donc pas nécessaire. La structure des pavés débutera donc à la couche de réglage fin de la couche de forme.

## 2.6. POINTS PARTICULIERS

De nombreuses galeries traversent en souterrain la cour d'honneur notamment pour le réseau d'assainissement du site (positions et dimensions sur le plan des réseaux). La génératrice de ces galeries étant à - 50cm sous le TN au niveau des grilles, des précautions de protection et de renforcement seront nécessaires pour protéger les ouvrages.

Le porche de la galerie Nord est traversé perpendiculairement par une trémie souterraine. Ce passage se situe à 1,50m de profondeur, et fait 1m de large pour 1,1m de haut à l'intersection.

L'actuelle structure de chaussée au droit de la galerie est la suivante :

- Pavés sur 15 cm
- Lit de pose en sable 4 cm
- Dalle béton d'environ 20 cm

Il conviendrait de connaître les charges permanentes et d'exploitation sur la dalle de la galerie pour assurer notre hypothèse de conception.

*Coupes techniques des structures joint en annexe.*

Aussi, le relevé de géodétection des réseaux a signalé, sur l'axe Nord-Sud et au Sud-Ouest de la place, des conduits non identifiés à une faible profondeur (- 40 cm), un repérage précis et une mise en protection seront nécessaires.

### III. MODE OPERATOIRE POUR LE PAVAGE

#### 3.1. TYPE DE PAVES

Les pavés auront 3 provenances différentes :

- Issus du site, après tri et écurage,
- En réemploi provenant d'autres sites similaires,
- En neuf issus d'une carrière du Gâtinais.

Nous avons estimé pouvoir réutilisés in situ 60% des pavés suite à leur dépose. Ils seront déposés mécaniquement (pelle hydraulique sur pneus), les joints et les lits de pose seront à décrocher en 2 temps, lors de la dépose puis par piquetage manuelle.

Les pavés neufs concerneront uniquement les cheminements PSH. Afin d'améliorer le confort de ces itinéraires, les pavés seront taillés afin de rendre leur surface quasi plane. De plus, les joints entre pavés ne devront occasionnés de ressaut supérieur à 5 mm.

Le reste de la cour pourra être repavé à partir des éléments ôtés. Nous avons tout de même estimé un apport de 5% de la surface (hors cheminements PSH) en pavés de réemploi en cas de dégradation lors du dépavage.

L'ensemble des pavés devra être entreposé sur le site de stockage prévu par l'OPC, et ils seront regroupés en fonction de leur épaisseur.

#### 3.2. METHODOLOGIE DE POSE

La pose de pavés suivra un calepinage strict prescrit par la maîtrise d'œuvre.

Une vigilance permanente sera exercée dans le contrôle de l'alignement des joints transversaux et longitudinaux. La pose s'effectue traditionnellement selon le phasage général ci-dessous :

- Acceptation des assises

- Réalisation des blocages de rives
- Réalisation du lit de pose
- Pose des pavés
- Réalisation des joints

## IV. GESTION DES EAUX PLUVIALES

### 4.1. DONNÉES D'ENTRÉES

#### 4.1.1. Gestion actuelle

La cour est équipée de 3 grilles concaves de petites dimensions (0,35m<sup>2</sup>) et d'un siphon (Ø150), le tout relié en surface par un maillage de caniveaux de largeur variable.

Ces ouvrages sont piqués dans des galeries maçonnées d'1 à 1,10 m de large pour 1,30 à 1,85 m de haut, puis dans un aqueduc souterrain d'1,05 m de large pour 1,60 m de haut.

Les eaux de toiture du bâti ceinturant le site se rejettent directement dans la cour par des buses (Ø140).

Au total, une surface de ruissellement de 9 000 m<sup>2</sup> est à traiter.

A noter qu'il est supposé que l'usure des joints des pavés participe à la perméabilité du site et donc à décharger les ouvrages de gestion des eaux. Le reprise du pavage réimperméabilisera la cour.

L'opération de détection des réseaux réalisée en Juin 2024, a mis en évidence l'existence d'un réseau de drains autour de la cour, à l'aplomb des regards bloqués. Ce réseau a surement été mis en place lors de la rénovation des pieds de façade, suivant les préconisations de l'étude de faisabilité.

#### 4.1.2. Coefficient MONTANA et occurrence

Les coefficients de MONTANA utilisés pour les calculs hydrauliques sur le site du HNI sont ceux de Paris – Montsouris.

L'occurrence retenue est celle d'une pluie de retour 10 ans.

**COEFFICIENTS DE MONTANA**

Formule des hauteurs

Statistiques sur la période 1982 – 2016

**PARIS-MONTSOURIS (75)**

Indicatif : 75114001, alt : 75 m., lat : 48°49'18"N, lon : 02°20'12"E

La formule de Montana permet, de manière théorique, de relier une quantité de pluie  $h(t)$  recueillie au cours d'un épisode pluvieux avec sa durée  $t$  :

$$h(t) = a \times t^{(1-b)}$$

Les quantités de pluie  $h(t)$  s'expriment en millimètres et les durées  $t$  en minutes.

Les coefficients de Montana ( $a, b$ ) sont calculés par un ajustement statistique entre les durées et les quantités de pluie ayant une durée de retour donnée.

Cet ajustement est réalisé à partir des pas de temps (durées) disponibles entre 6 minutes et 24 heures.  
Pour ces pas de temps, la taille de l'échantillon est au minimum de 29 années.

**Coefficients de Montana pour des pluies  
de durée de 6 minutes à 24 heures**

Durée de retour	a	b
5 ans	7.339	0.723
10 ans	9.06	0.73
20 ans	10.752	0.732
30 ans	11.683	0.732
50 ans	12.962	0.733
100 ans	14.724	0.732

**4.1.3. Coefficients de ruissellement**

Les coefficients de ruissellement retenus sont les suivants :

- Toitures : 0.9
- Pavés : 0.6

**4.2. PROJET ET CALCULS****4.2.1. Projet**

Il est projeté :

- d'ajouter des grilles-avaloirs aux principaux points d'intersection des caniveaux et de réaliser les raccordements de celles-ci vers l'aqueduc,
- de reconstruire intégralement les 3 regards-grilles existants,
- de reprofiler les caniveaux afin d'améliorer la collecte du ruissellement.

Mais aussi, d'un point de vue esthétique :

- de reprendre le siphon sans en changer la structure,
- de changer les tampons fonte d'accès à l'aqueduc par des éléments remplissables en pavés s'intégrant mieux dans la cour, ils devront avoir une ouverture assistée et posséder une portance type D400,
- de curer les réseaux actuels et d'évacuer les indésirables,
- de remettre à niveau tous les ouvrages en phase de finition des revêtements.

Lors de la réunion du 7 Mars 2024 entre l'ESID, 2BDM et Cap Vert Ingénierie, il a été convenu que :

- 4 nouveaux points d'engouffrement seront créés sur la cour,



- le principe de double grille implantée sur l'esplanade ne serait pas appliqué sur la cour.
- La logique de tolérer une rétention de surface au droit des grilles, le temps que celles-ci absorbent le volume de pluie à abattre, a été acté.

*Plan des réseaux EP projetés joint en annexe.*

#### 4.2.2. Principe de Calcul

Il convient de calculer l'abattement volumique minimum des pluies courantes à évacuer via la formule :  $V_a = S_a \times C_a \times H_s$

$V_a$  (l) : Quantité d'eaux à évacuer

$S_a$  (m<sup>2</sup>) : Surface active (qui produit des eaux de ruissellement)

$C_a$  : Coefficient de ruissellement (voir § 4.1.3)

$H_s$ (mm) : Hauteur minimale de lame d'eau à évacuer – pour la zone d'étude, cette valeur est de 8mm, ça correspond au cumul moyen sur 24h pour 4/5<sup>e</sup> des pluies enregistrées sur environ 30 ans.

*Données issues du Guide d'accompagnement pour la mise en œuvre du zonage pluvial, édité par la mairie de Paris en juin 2018.*

#### 4.2.3. Calculs

Pour la cour (galerie Nord déduite) :

$$V_a^1 = S_a \times C_a \times H_s$$

$$V_a^1 = 6387 \times 0,6 \times 8$$

$$V_a^1 = 30\,658\,l$$

Pour les toitures :

$$V_a^2 = S_a \times C_a \times H_s$$

$$V_a^2 = 2525 \times 0,9 \times 8$$

$$V_a^2 = 18\,180\,l$$

Soit au total :  $V_a = V_a^1 + V_a^2 = \mathbf{48\,838\,l}$  toutes les 24 heures

#### 4.2.4. Estimation de la future gestion des eaux pluviales

En premier lieu, il faut calculer la quantité d'eau à absorber par grille, ensuite il faut définir la capacité d'absorption de ces nouveaux ouvrages, et enfin faire la corrélation des deux pour savoir en combien de temps l'ensemble des eaux de ruissellement seront absorbés.

Notre projet prévoit 8 ouvrages de collecte soit une quantité minimale à absorber de 6105 litres par ouvrage.

$$V = V_a / 8 = \mathbf{6\,104,75\,l}$$

La formule de Torricelli aide à déterminer le débit engouffré pour un ouvrage :

$$Q = K \times S_{\text{aval}} \times \sqrt{(2 \times G \times H_s)}$$

$K$  : coefficient d'obturation (entre 0,8 et 1) – vu l'absence d'arbres  $k=1$

$S_{\text{aval}}$  (m<sup>2</sup>) : surface d'avalement de la grille

$G$  : accélération de la pesanteur (9,81m/s)

$H_s$  (m) : hauteur minimale de lame d'eau à évacuer (8 mm)

Pour le calcul, nous utiliserons la surface d'avalement des grilles mises en place sur l'esplanade, soit 5,3 dm<sup>2</sup> ou 0,053 m<sup>2</sup> (selon la fiche produit).

La capacité d'absorption de ces grilles est donc de 21 l/s

$$Q = K \times S_{\text{aval}} \times \sqrt{(2 \times G \times H_s)}$$

$$Q = 1 \times 0,053 \times \sqrt{(2 \times 9,81 \times 0,008)}$$

$$Q = 0,021 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{21 \text{ l/s}}$$

Pour conclure, le projet permettra d'évacuer les 8 mm d'hauteur de pluie moyenne, en moins de 5 minutes. *(voir simulation sur la grille d'évacuation au Nord-Ouest sur le plan des réseaux EP projetés joint en annexe)*

$$T = V/Q = 291 \text{ secondes}$$

#### 4.2.5. Compléments d'informations suite au projet

Les eaux seront canalisées vers les caniveaux via les pentes et les joints de pavés, de ce fait, la hauteur d'eau ressentie sur les cheminements PSH sera bien en deçà des 8 mm indiquées.

Néanmoins, cela conclut qu'une minute après le début d'une pluie classique, plus de 30% de la cour sera submergé par une lame d'eau de 11 mm, répartie sur les 4 points bas de la cour d'honneur, ils correspondent aux 4 grilles initiales.

L'emprise de ces flaques dépendra de l'épisode pluvieux. Le principe projeté pourra gérer le seuil réglementaire défini par la mairie de Paris en 5 minutes, mais une pluie de plus de 16 mm (6% des cas) voire un épisode orageux décennal de 48 mm sera inmanquablement plus long à traiter.

## V. ANNEXES

### A-1 PLAN DE SYNTHÈSE « TOPOGRAPHIE ET RÉSEAUX »

### A-2 COUPES TECHNIQUES DES STRUCTURES

### A-3 PLAN DES RÉSEAUX EP PROJETÉS