

PROJET PILOTE

PROTECTION DES PUITIS DANS LES OUES



Co-convened by



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

PROJET PILOTE

PROTECTION DES PUIITS DANS LES OUEDS

Santiago Arnalich

Sheilla Constance Apio (Traduction et dessins CAO)

25/02/2025, version 1.00

Table des matières

| | |
|---|----|
| 1. Résumé général | 2 |
| 2. Problématique | 3 |
| 3. Solution proposée : P2W..... | 7 |
| 4. Description du système..... | 10 |
| ANNEXE 1 : Calcul hydraulique..... | 14 |
| ANNEXE 2 : Calcul de structure | 18 |
| ANNEXE 3 : Détails de la construction | 41 |
| ANNEXE 4 : Dessins directeurs | 47 |
| ANNEXE 5 : Plans de construction | 51 |
| ANNEXE 6 : Détail Quantitatif et Estimatif..... | 64 |

—

Image de couverture. La protection en gabion nécessite des rénovations fréquentes et coûteuses, offrant une protection limitée du puits à un prix élevé. Mile, Tchad.

1. Résumé général

De nombreux puits parmi les plus importants approvisionnant en eau potable les camps de réfugiés au Tchad se trouvent à l'intérieur ou près des lits des oueds. À chaque saison des pluies, **les infrastructures majeures sont menacées**, mettant en péril l'approvisionnement en eau de plus de 200 000 réfugiés. Les travaux de protection sont coûteux, dans certains cas quasi équivalent au coût des puits qu'ils devraient protéger. Ces protections ne sont également pas durables et nécessitent une réhabilitation annuelle qui épuise les ressources humaines et économiques d'autres secteurs.

Dans le contexte de l'initiative de solarisation des puits au Tchad, les réparations constantes compliquent l'évaluation de la rentabilité de ces systèmes. **Il est impératif de trouver une solution durable pour garantir le succès de la solarisation.**

Toutefois, la réalisation d'infrastructures durables dans les oueds représente un défi de taille. Dans ce contexte, notre document **propose une conception provisoire** pour lancer une solution durable, innovante et économique, ultérieurement déployable dans ces zones complexes.



Figure 1. Puits détruits par le ruissellement, Hadja Hadid, Tchad.

2. Problématique

Les oueds sont réputés pour être des endroits extrêmement difficiles pour construire. Les flux d'écoulement de l'eau creusent le sol autour de l'infrastructure ; ce phénomène est appelé « érosion ». Ils emportent également les tuyaux et les câbles vers le lit de la rivière. Le profil change constamment de saison en saison. Le sable mou et humide a l'une des plus faibles capacités portantes de tous les sols, rendant les structures facilement instables. Par ailleurs, la nappe phréatique élevée et la perméabilité énorme du sable rendent la réalisation de travaux de bétonnage ou de pose de tuyaux à n'importe quelle profondeur très difficile dans des zones éloignées à faible revenu.

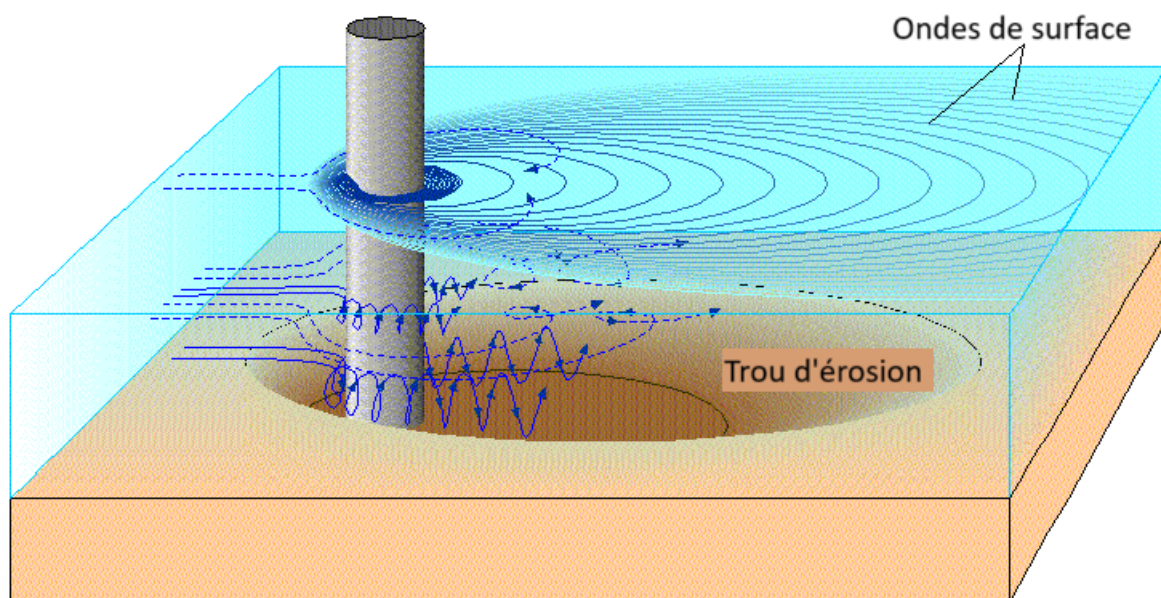


Figure 2. L'érosion est provoquée par la déviation de l'eau entrante vers le bas, formant des tourbillons en fer à cheval, ainsi que par les tourbillons de sillage en aval. Source: USGS

Malheureusement, **peu de solutions appliquées ailleurs pourraient être exécutées dans des contextes comme celui du Tchad.** Dans le cas des ponts, par exemple, les piliers reposent sur des chapeaux et des pieux (colonnes très profondes) qui assurent la stabilité et permettent de faire face à l'érosion. L'inaccessibilité de ces moyens et leur coût par rapport à l'objectif cible nécessitent d'explorer des options durables et moins coûteuses.



Figure 3. Position d'un puits creusé en 2019 et perdu durant la saison 2022, .

Plusieurs solutions ont été testées localement et, bien que partiellement efficaces, **nécessitent des rénovations constantes, les rendant peu rentables**. En plus du besoin de conceptions plus efficaces, elles **reposent sur des gabions** de mauvaise qualité, mal exécutés et inadaptés au problème.



Figure 4. L'érosion a déstabilisé le mur de gabions, faute de géotextile et de fondation adéquats. La durabilité du fil de cage est aussi préoccupante. Hadja Hadid, Tchad.



Figure 5. Déstabilisation et défaillance des travaux de protection, Treguine, Tchad.



Figure 6. Rupture des raccords de tuyaux à Bredjing. Les conduites traversant les oueds nécessitent des réparations constantes.

Le défi consiste à trouver une conception qui soit durable, économique et réalisable dans un contexte à faible revenu.

Cette conception s'appuie sur **certaines des solutions déjà testées**, les améliorant en éliminant les gabions, en protégeant également les conduites d'eau, et en utilisant des formes hydrodynamiques qui réduisent l'érosion et améliorent la stabilité face à l'érosion.



Figure 7. La protection de ce puits à Mile, Tchad, reflète une bonne partie de la logique derrière la solution.

3. Solution proposée : P2W

La solution proposée pour les tests sur le terrain est une ligne aérienne transportant le tuyau et le câble du moteur électrique soutenue par des pylônes en treillis d'acier. Une géométrie hydrodynamique en béton de masse fournit le contrepoids stabilisateur pour les forces de la ligne et offre une protection contre l'érosion. La protection est obtenue en rendant la structure plus profonde que la profondeur à laquelle l'érosion se stabilise. Le pylône en acier est le même pour les têtes de puits, les points intermédiaires et les points d'extrémité.

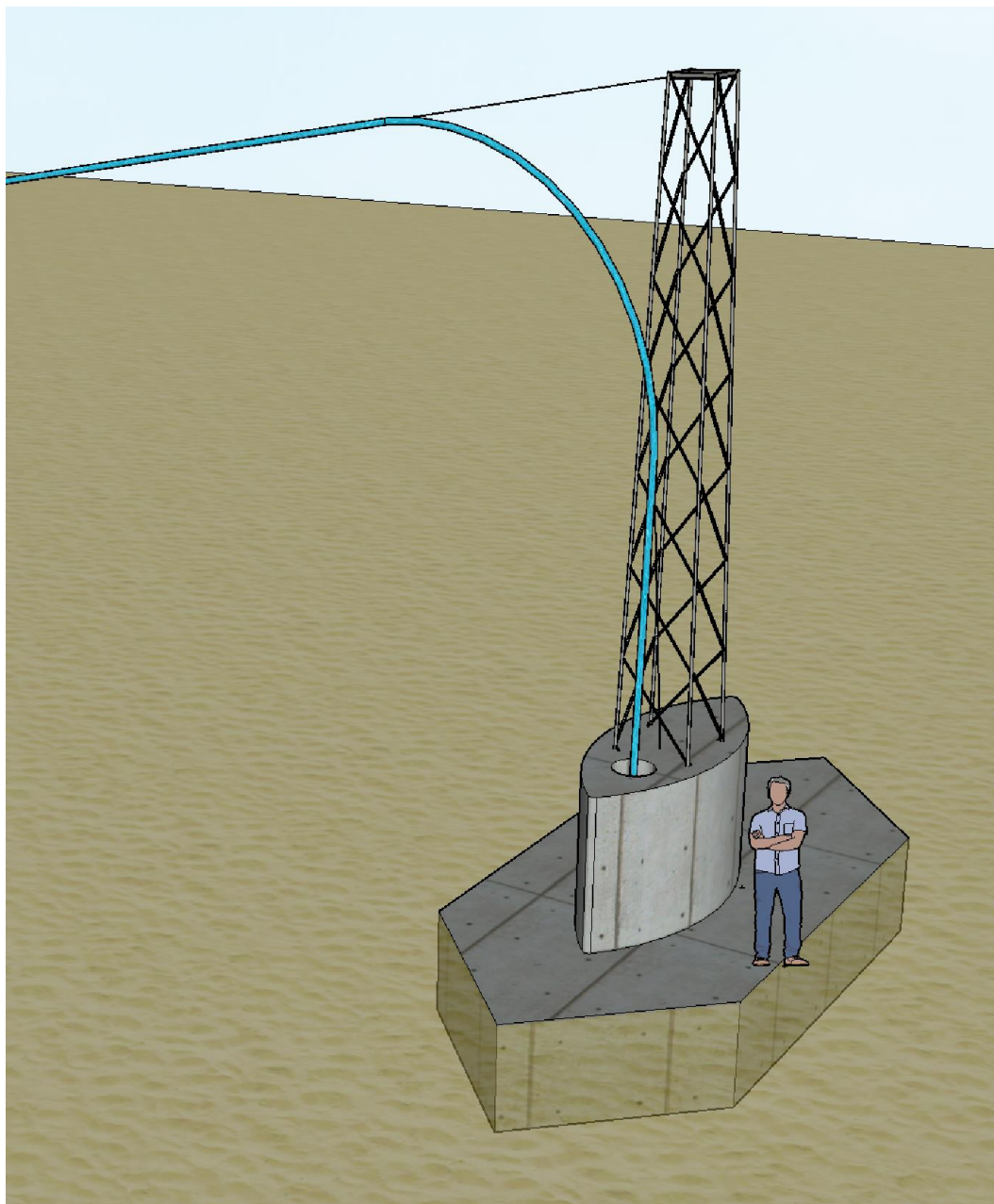


Figure 8. Tête de puits, début de la ligne aérienne. La forme hexagonale est enterrée et seule le voile est visible.

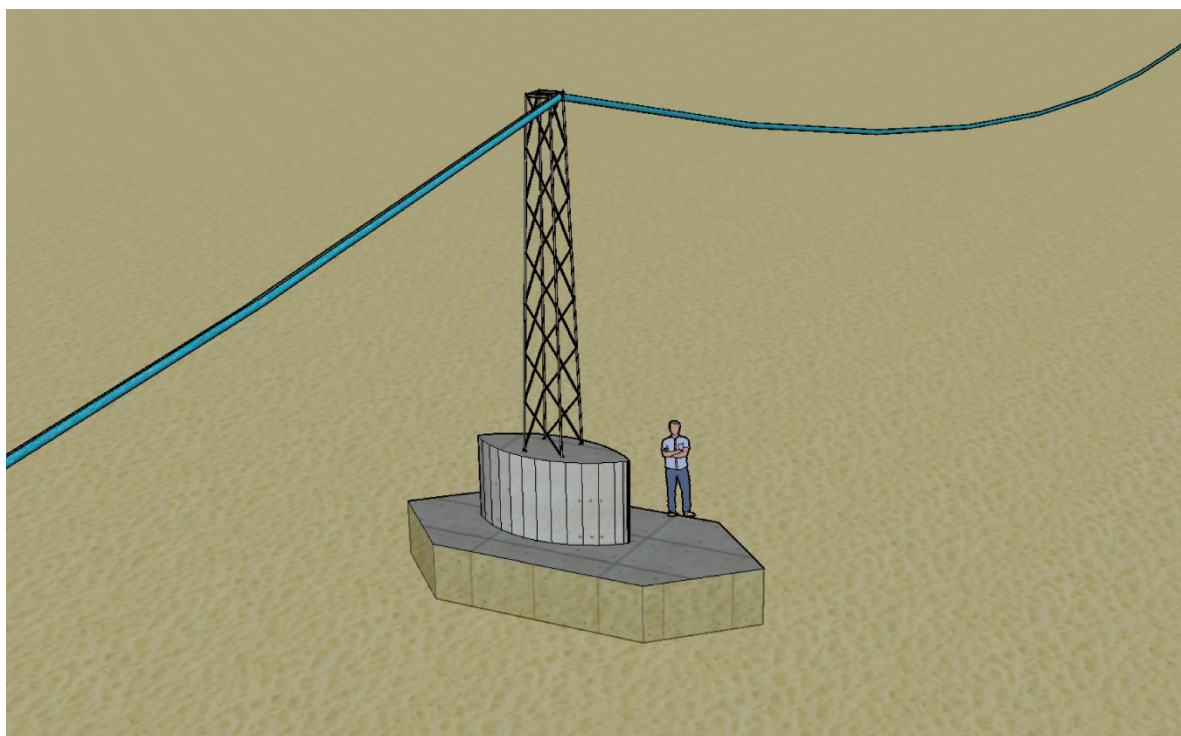


Figure 9. Support intermédiaire pour des distances supérieures à 50 mètres.

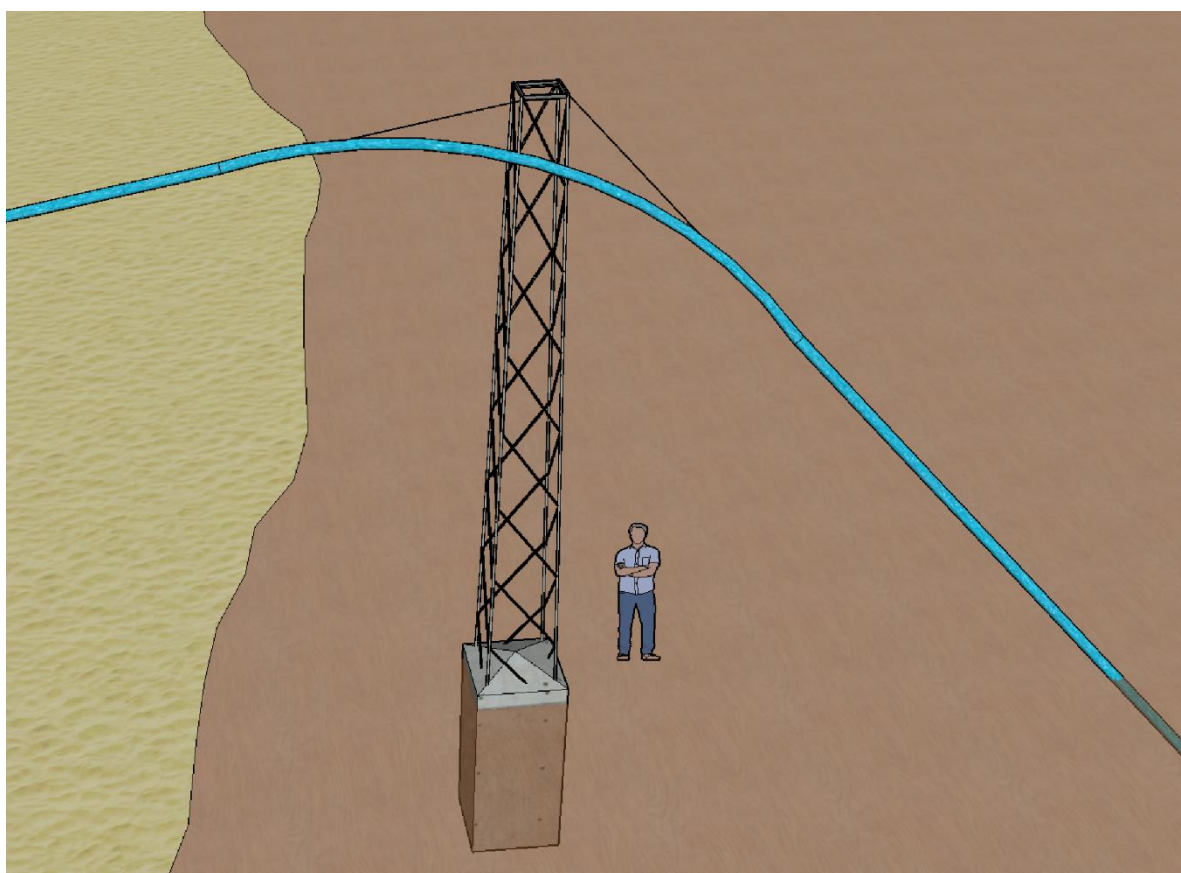


Figure 10. Point d'extrémité, arrivée à l'extérieur de l'oued. Cela peut être transformé en support intermédiaire si nécessaire.

Spécifications clés :

- Système à tuyau unique : **ne pas ajouter de charge supplémentaire**. Chaque puits nécessite son propre système.
- Portée maximale entre les supports : 50 m ; **ne pas dépasser !**
- Affaissement minimum du câble : 3 m ; **ne pas réduire !**
- Profondeur d'eau maximale : 1,5 - 2 m
- Élévation minimale du câble : 3 m au-dessus du niveau d'eau maximal
- Diamètre maximal du tuyau : 110 mm
- Câble moteur maximal : 4x50 mm² (3,02 kg/m).

AVERTISSEMENT : Ce design est une proposition à réviser localement et à adapter aux codes locaux. Le manque d'information sur l'hydrologie de l'oued le rend provisoire et il peut nécessiter des ajustements lorsque plus d'informations seront disponibles.

4. Description du système

A. Lignes aériennes

Le tuyau et le câble du moteur sont installés dans une ligne aérienne. La traction due au poids du câble est la charge dominante dans les calculs de structure et de stabilité. Dans une caténaire, **les forces augmentent en flèche avec la distance entre les supports ou la diminution de l'affaissement**. Il est essentiel de respecter les paramètres prescrits ci-dessous :

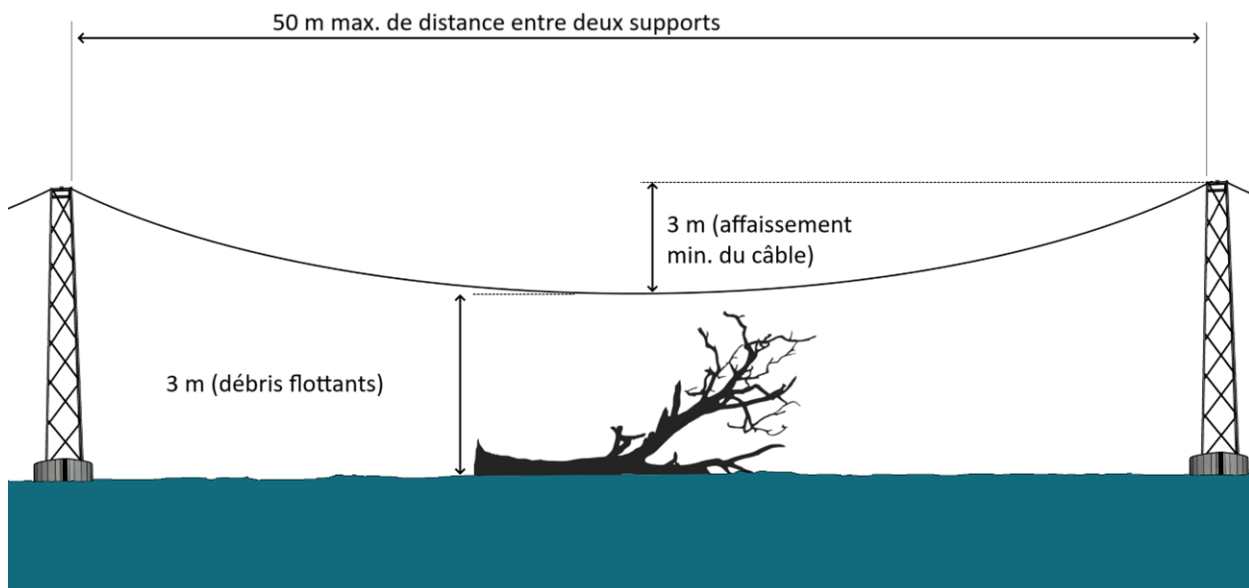


Figure 11. Principales spécifications géométriques pour le câble aérien.

B. Pylône en treillis d'acier

Le pylône en acier de qualité S275 est constitué de profils d'angle en fer courant, dans une configuration standard qui devrait être facile à fabriquer localement. Il peut même être facilement disponible chez les fournisseurs d'électricité, bien que les charges sur ces pylônes électriques tendent à être moins importantes.

La géométrie doit être strictement respectée. Les profils d'angle en fer sont parmi les plus courants, mais des profils plus grands ou plus épais peuvent être utilisés s'ils ne sont pas disponibles localement, par exemple des profils L45.5 au lieu de L40.4 ou L70.7 au lieu de 70.6. Idéalement, des profils galvanisés et des électrodes de soudure spécifiques sont utilisés.

Généralement, les profils d'angle en fer sont disponibles en longueurs de 6 mètres. Pour faciliter le transport, la tour est divisée en deux tronçons qui peuvent être boulonnés ensemble sur site (voir les détails à la fin du document).

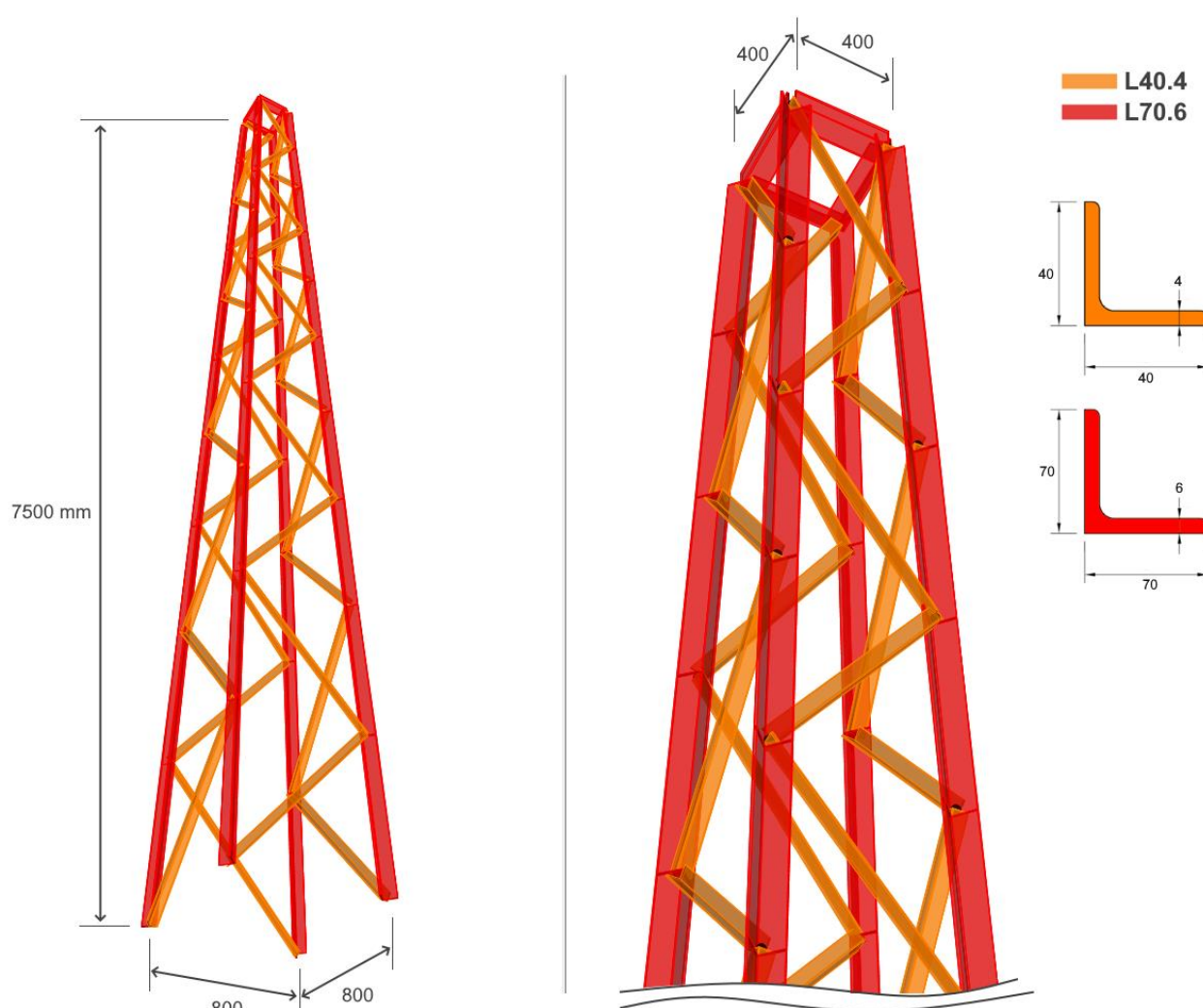


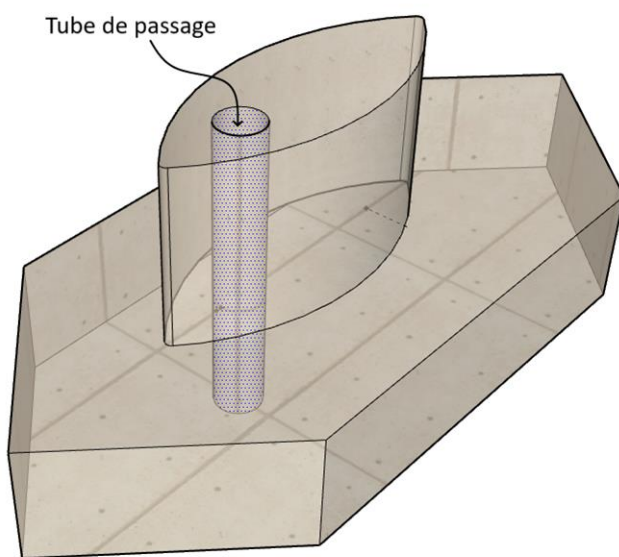
Figure 12. Pylône en treillis proposé ; les cinq premiers étages sont espacés de 800 mm et les cinq derniers de 700 mm, pour une hauteur totale de 7,5 mètres.

Le pylône doit toujours être au-dessus de la charge d'eau, protégé des impacts de débris flottants par le voile en béton.

C. Contrepoids en béton de masse

La masse en béton offre une protection contre la profondeur d'érosion et sert de contrepoids, comme un jouet culbuto. **La profondeur d'érosion** est l'une des importantes informations manquantes et pourrait nécessiter une augmentation après les tests.

Cette masse doit être orientée pour couper le flux aussi efficacement que possible. **La partie hexagonale est enterrée sous le sol.** La forme ovale (voile) couvre la profondeur totale de l'eau pour protéger le pylône des impacts.



Cette masse doit être en mesure de se déplacer librement à partir des tubes de forage pour **s'adapter à l'inclinaison et l'enfoncement probables** mais également permettre des travaux de réparation. Un tube de passage de diamètre 40 cm devrait être placé lors du coulage pour éviter la transmission des forces aux tuyaux de forage et autres éléments.

Il s'agit de la partie la plus coûteuse de la protection à construire. **Pour réduire les coûts, du béton cyclopéen** (béton à granulats grossiers) est utilisé. Cela réduit le volume de béton nécessaire d'environ 40% et nous permet de recycler les roches de gabion existantes. Des

précautions doivent être prises lors de la construction de ce béton. Simplement **déverser des roches non nettoyées, non mouillées, fracturées et mal placées dans le mélange donnera un béton de très mauvaise qualité.**

ANNEXE 1 : Calcul hydraulique

Bases de calcul

Paramètres de tête de puits existante (généralisée)

Géométrie de la construction : circulaire avec des anneaux de béton empilés les uns sur les autres

Diamètre : 1,3 m

Hauteur de la tête au-dessus du sol : 2 m

Paramètres hydrogéologiques de l'oued

Malheureusement, les données hydrodynamiques des oueds ne sont pas disponibles et la possibilité de les mesurer sur différents sites avec les ressources humaines disponibles n'est pas une possibilité réelle.

Vitesse maximale d'écoulement (u) : 2,5 m/s

Densité de l'eau trouble (ρ_{wm}) : 1200 kg/m³

Détermination de la charge

Résistance hydrodynamique

La résistance hydrodynamique (F_D) est donnée par l'équation suivante (unités du SI) :

$$F_D \text{ (N)} = \frac{1}{2} \times \rho \times C_D \times u^2 \times A$$

Pour les puits en béton existants :

A. Données d'entrée

| | | |
|------------------------|------|-----------------------|
| Masse volumique | 1200 | kg/m ³ |
| | | <i>Cylindre court</i> |
| Coefficient de traînée | 0,64 | ($L/D \approx 1$) |
| Vitesse | 2,5 | m/s |
| Surface | 1,95 | m ² |

B. Résultat

| | | |
|------------|------|----|
| Force (N) | 4680 | N |
| Masse (Kg) | 478 | kg |

Pour un profil en forme de goutte comme la tourelle d'un sous-marin :

A. Données d'entrée

| | | |
|------------------------|------|-------------------|
| Masse volumique | 1200 | kg/m ³ |
| | | <i>Teardrop</i> |
| Coefficient de traînée | 0,1 | cylinder |
| Vitesse | 2,5 | m/s |
| Surface | 1,2 | m ² |

B. Résultat

| | | |
|------------|-----|----|
| Force (N) | 450 | N |
| Masse (Kg) | 46 | kg |

La réduction de la force est notable mais son impact global demeure limité. **L'atout majeur de cette forme réside principalement dans sa capacité à réduire la turbulence, minimisant ainsi les risques d'érosion.**

Erosion

Il n'y a pas suffisamment de données pour modéliser l'érosion.

Localement, les gabions posent des problèmes de qualité, montrent des performances insatisfaisantes et exigent un entretien régulier. Le modèle de protection proposé est basé sur **la profondeur d'érosion**. Au lieu de protéger contre l'érosion, on permet que l'érosion se produise jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint. Si la structure est plus profonde que la profondeur d'érosion, elle n'est pas déstabilisée par celle-ci.

Profondeur d'érosion











La profondeur d'érosion maximale observée sur site est de 50 cm avec des formes non hydrodynamiques : des barrières, des cubes, des losanges ...

Augmenter la profondeur de la structure présente des limites pratiques, non seulement en termes de coût mais aussi en raison de la nappe phréatique élevée dans les oueds. L'assèchement pour le bétonnage entraîne des défis logistiques et économiques.

En raison de celà, **une profondeur de structure préliminaire de 1 m** sera soumise à des tests sur le terrain.

Formes hydrodynamiques

La forme de la structure est essentielle pour limiter la profondeur d'érosion, voir par exemple les résultats des tests suivants issus de modèles de laboratoire¹ qui ont été utilisés comme guide :

| Forme de la jetée | | V=0.18 | V=0.25 | V=0.3 |
|-------------------|---|-----------------------------------|--------|-------|
| | | Profondeur d'érosion mesurée (cm) | | |
| Circulaire |  | 3.9 | 6.1 | 6.9 |
| Rectangulaire |  | 4.3 | 6.8 | 7.6 |
| Octogonale |  | 4.2 | 5.2 | 5.9 |
| Joukowsky |  | 4.7 | 5.5 | 6.1 |
| Biseautée |  | 4.1 | 5.9 | 6.7 |
| Oblongue |  | 4.1 | 4.6 | 5.8 |
| Elliptique |  | 3.6 | 4.9 | 5.6 |
| En nez-pointu |  | 3 | 4.5 | 4.9 |
| Hexagonale |  | 2.8 | 3.6 | 4.1 |
| Forme profilée |  | 1.9 | 2.6 | 3 |

¹ Al-Shukur, Abdul-Hassan & Hadi Obeid, Zaid. (2016). EXPERIMENTAL STUDY OF BRIDGE PIER SHAPE TO MINIMIZE LOCAL SCOUR. 7. 162-171.

La praticité de la construction est également prise en compte :

- Pour la fondation et le contrepoids, la masse en béton cyclopéen se voit attribuer un profil de “**nez pointu**”, le plus performant parmi ceux faciles à construire avec un coffrage normal et qui offre un bord d’inclinaison droit et long pour la stabilité.
- Pour la structure protégeant le puits et la tour des flux et des impacts, une **forme profilée** est adoptée.

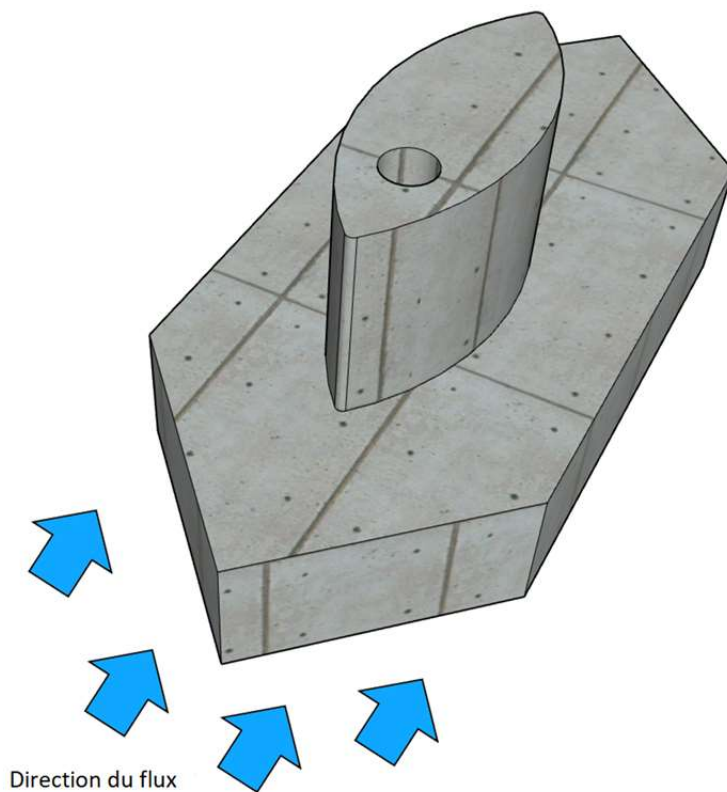


Figure 13. Formes hydrodynamiques de la fondation du contrepoids et de la tête de puits (voile).

ANNEXE 2 : Calcul de structure

Méthodologie

La tour est modélisée comme une structure en acier 3D dans SAP2000 en utilisant kg, mm et °C comme unités. L'approche LRFD est adoptée pour la conception. Les charges et les combinaisons sont définies par le code ASCI 7-16 avec les conditions du site selon les sources d'information référencées pour le Tchad lorsqu'elles sont disponibles.

Le code d'acier ANSI/AISC 360-16 est utilisé pour les sections d'acier, EHE-08 pour la dalle de béton.

Base de calcul

Propriétés des matériaux et facteurs de résistance

Béton : HA-25 - $f_c = 25 \text{ N/mm}^2$

Barres d'armature : B-400 - $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$

Profils laminés à froid : C235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Facteur de résistance selon les codes.

Codes de conception

- ASCI 7-16
- ANSI/AISC 360-16.
- EHE-08
- BS 6349-2

Combinaisons de charges

Ceux fixés par ASCE 7-16 section 2.3.2:

1. $1.4D$
2. $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.5W)$
4. $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
5. $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
6. $0.9D + 1.0W$
7. $0.9D + 1.0E$

A_k = charge ou effet d'une charge résultant d'un événement extraordinaire A

D = charge permanente

D_i = poids de la glace

E = charge sismique

F = charge due à des fluides avec des pressions bien définies et des hauteurs maximales

F_a = charge d'inondation

H = charge due à la pression latérale des sols, à la pression de l'eau souterraine ou à la pression des matériaux en vrac

L = charge d'exploitation

L_r = charge d'exploitation de la toiture

R = charge de pluie

S = charge de neige

T = charge auto-contrainte

W = charge de vent

W_i = vent sur la glace, déterminé conformément au chapitre 10

Les charges dues à la neige, à la glace et aux tremblements de terre ne seront pas prises en compte pour les structures au Tchad, ce qui rend certaines combinaisons de charges redondantes (5, 6, 7).

Hypothèses de conception

H1 : Fondations sèches ; le lit de la rivière n'a pas d'eau courante, il n'y a pas de forces de flottaison.

H2 : Fondation submergée sous le flux d'eau ; effets de flottaison.

H3 : Tuyau partiellement rempli ; poids de la charge d'exploitation de l'eau agissant uniquement sur un côté sur les poteaux intermédiaires.

Détermination des charges

La ligne aérienne est soutenue par une tour en treillis d'acier pyramidal à quatre faces. Comme la même tour doit être répétée à plusieurs endroits au Tchad, les conditions les moins favorables sont prises en compte. Pour les charges caténaire, le rapport longueur/flèche est de $50/3=0,06<0,1$, par conséquent, le câble peut être approximé à une parabole uniformément chargée avec des charges horizontales :

$$R_{1x} = R_{2x} = q L^2 / (8 h) ; R_{1y} = R_{2y} = q L / 2$$

Avec :

$R_{1x} = R_{2x}$ = forces horizontales de support (lb, N) (équivalentes à la tension au point le plus bas à mi-portée dans le câble).

q = charge unitaire (poids) sur le câble (lb/ft, N/m)

L = portée du câble (ft, m)

h = flèche du câble (ft, m)

$R_{1y} = R_{2y}$ = forces verticales de support (lb, N)

L'angle θ peut être calculé par la formule :

$$\theta = \tan^{-1}(R_{1y} / R_{1x}) = \tan^{-1}(R_{2y} / R_{2x})$$

La longueur du câble affaissé peut être approximé par :

$$s = L + 8 h^2 / (3 L)$$

Avec :

L = longueur du câble (ft, m)

Consulter la section sur le dimensionnement du câble métallique pour les résultats.

1. Charges permanentes

Câble en acier (10 mm) : 0,40 kg/m

Câble de moteur électrique (4x50mm²) : 3,02 kg/m

Conduite (HDPE 110mm PE100) : 2,27 kg/m

Pour les profilés en acier : 7850 kg/m^3 .

Les charges sur le caténaire aérien sont : $0,4 + 3,02 + 2,27 = 5,69 \text{ kg/m}$

2. Charges d'exploitation

Le poids de l'eau dans la conduite (110 mm) : $W = \rho \cdot l \cdot \phi^2 / 4 = 1000 \times 1 \times 0,097^2 / 4 = 7,39 \text{ kg/m}$

Cette valeur est également celle des charges d'exploitation sur le caténaire aérien.

Charge d'exploitation : 300 kg sont considérés comme incompatibles avec les charges de vent.

3. Charges de vent

La vitesse de base du vent (V) est prise à 120 km/h ou $33,33 \text{ m/s}$.

Le facteur de direction du vent pour les deux tours en treillis de profilé en fer angulaire et le tuyau rond est $K_d = 0,95$ (Table 26.6-1).

Coefficient d'exposition à la vitesse, pour l'exposition D et 12 m de hauteur, $K_z = 1,16$ (Table 29.3-1).

Des changements abrupts dans la topographie ne sont pas attendus dans un terrain principalement plat $K_{zt} = 1$

$$q_z = 0.00256 K_z K_{zt} K_d V^2 \text{ (lb/ft}^2\text{)} \quad (29.3-1)$$

$$[\text{In SI: } q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 \text{ (N/m}^2\text{); } V \text{ in m/s}]$$

$$q_z = 0,613 \times 1,16 \times 1 \times 0,95 \times 33^2 = 751 \text{ N/m}^2 = 751 \text{ N/m}^2 \times 0,10197 \text{ kg/N} = 76,52 \text{ kg/m}^2$$

3.1 Vent sur le câble

La direction du vent est considérée horizontale et perpendiculaire au câble.

$$F_{wc} = q_z \cdot d \cdot l = 76.52 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} \times 0,11 \text{ m} = 8,42 \text{ kg/m}$$

3.2 Vent sur la tour en treillis

Pour une zone de tour à treillis carrée, en supposant des profilés L 50.5, $\epsilon = 0,1586$ et $C_f = 3,16$

$$F = 0,751 \times 0,85 \times 3,16 \times 0,1 = 0,48 \text{ kN/m} \text{ ou } 20,4 \text{ kg/m de tour à } 90^\circ.$$

Pour le vent en diagonal, ce qui précède est multiplié par $1 + 0,75 \epsilon = 1,012$

$$F_{45^\circ} = 20,4 \times 1,012 = 20,65 \text{ kg/m de tour}$$

Pour simplifier, seuls les vents perpendiculaires seront pris en compte (20,4 kg/m), car leur effet sur la construction prévue est le plus défavorable.

4. Charges de neige et de glace

Les charges de neige et de glace ne sont pas prises en compte au Tchad pour les zones climatiques allant du tropical à l'aride.

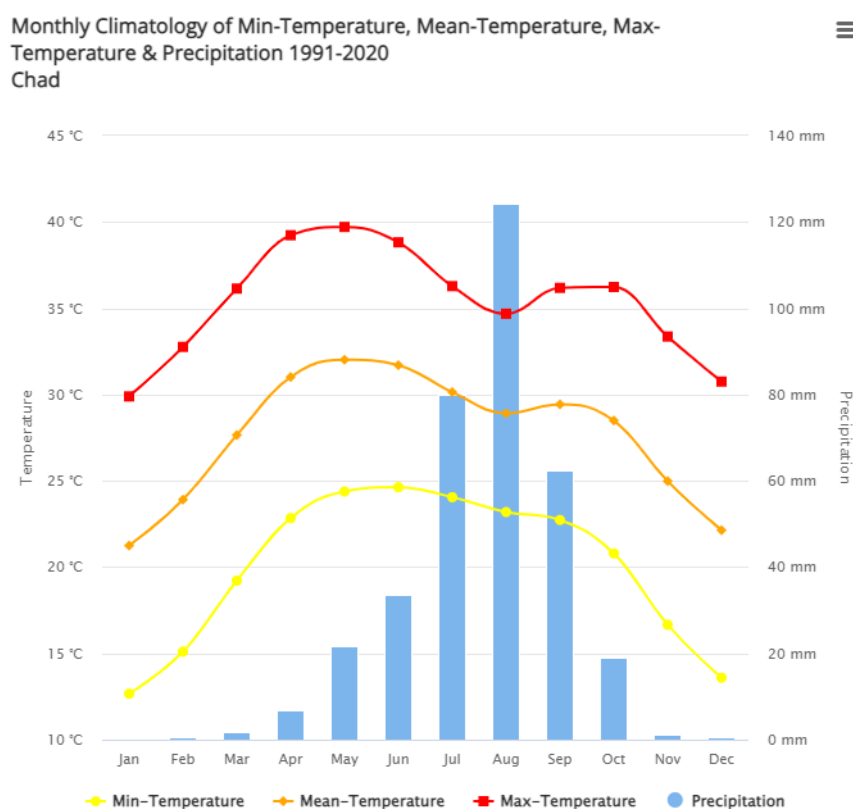


Figure 8 : (Source : Portail de la Banque mondiale sur le changement climatique)

5. Charges sismiques

L'accélération du sol (g) est inférieure à 0,04 g, ce qui ne nécessite pas de calculs sismiques.

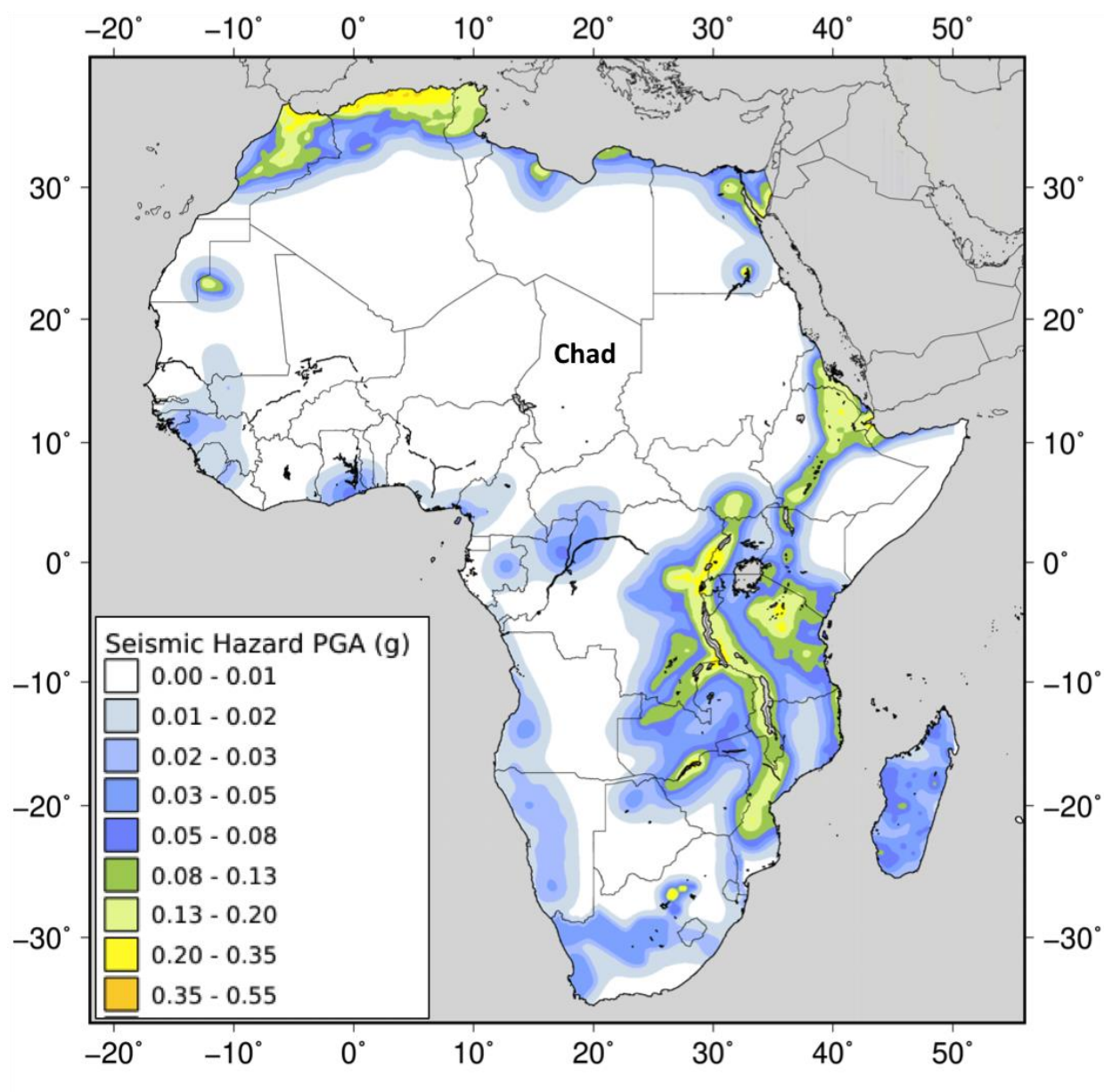


Figure 9 : Modèle des risques liés aux séismes en Afrique (Source: Global Earthquake Model Foundation)

6. Autocontrainte

La déformation thermique n'est pas prise en compte en raison de la petite taille de la structure. La fondation en dalle unique ne permet pas de tassements différentiels.

7. Impact et enchevêtrement

Les débris flottants touchent la structure avec une faible vitesse et une faible masse ; l'impact est facilement absorbé par la partie en béton de la structure. Le tablier en béton au-dessus de

la ligne d'eau protège les profilés d'acier de la tour contre la déformation due à l'impact. **Les câbles seront maintenus à au moins 3 m au-dessus du niveau d'eau maximum** attendu pour éviter l'enchevêtrement et l'impact des débris flottants, principalement des arbres. Dans des environnements très complexes, cette distance peut être réduite à deux mètres.

Une protection supplémentaire n'est pas considérée comme rentable.

8. Résumé des charges

A. Données d'entrée

| | | |
|-------------------------------------|-------|------|
| Longueur maximale du câble | 50,5 | m |
| Hauteur de la tour | 7,5 | m |
| Affaissement du câble | 3 | m |
| Vent latéral sur le câble | 8,42 | kg/m |
| Charge permanente du caténaire (-z) | 3200 | N |
| Charge permanente du caténaire (x) | 55,76 | N/m |

B. Données secondaire

| | | |
|------------------------------------|------|------|
| Charge permanente du caténaire | 5,69 | kg/m |
| Charge d'exploitation du caténaire | 7,39 | kg/m |

C. Charge par cas

| | | |
|---|--------|----|
| Vent latéral sur le câble (y) | 425,21 | |
| Charge permanente du caténaire (-z) | 287,35 | kg |
| Charge permanente du caténaire (x) | 592,05 | kg |
| Charge d'exploitation du caténaire (-z) | 373,20 | kg |
| Charge d'exploitation du caténaire (x) | 777,57 | kg |
| Charge d'exploitation (-z) | 300,00 | kg |

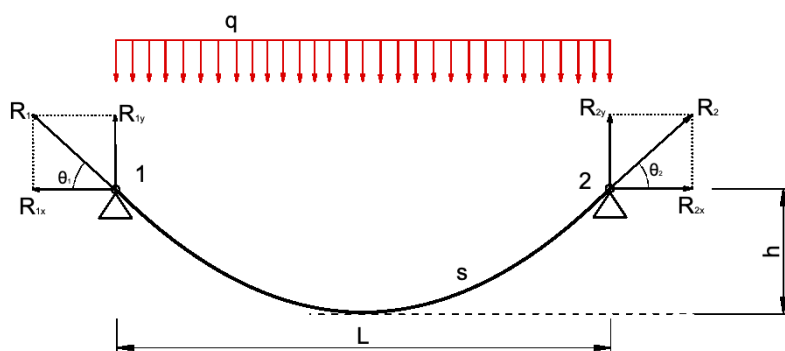
Charge et dimensionnement des câbles en acier

Les charges permanentes et d'exploitation totales sur le câble sont :

| | | |
|----------------|--------------|------------------|
| Poids unitaire | 13,08 | kg/m |
| | 7,39 | eau |
| | 2,27 | conduite |
| | 0,4 | câble en acier |
| | 3,02 | Câble électrique |

| | | |
|-------------------------|-------|------|
| Coefficient de sécurité | 1 | |
| | 13,08 | kg/m |
| | 128 | N/m |

- R_{12x} (N, lb) : **13333**
- R_{12y} (N, lb) : **3200**
- R_{12} (N, lb) : **13712**
- θ (degrés) : **13,5**
- s (m, ft) : **50,5**
- flèche : **3 m**



La charge de vent est de 8,42 kg/m. pour 50,5 m, la charge sur le câble est 4171 N.

La charge totale sur le câble est $T_{\max} = \sqrt{T_{cat}^2 + T_{vent}^2} = 14,332$ kN ou 1461 kgf.

Provisoirement, un câble de 10 ou 12 mm est recommandé, à vérifier auprès des fabricants pour voir ce qui est localement disponible (la charge sécuritaire a un facteur de sécurité de 5 qui peut ne pas être nécessaire). Les accessoires de câble en acier doivent être conformes à la taille du câble.

| Rope Diameter | | Minimum Breaking Strength | | Safe Load | | Weight | |
|---------------|------|---------------------------|------|--------------------|------|-----------------------|--------|
| (in) | (mm) | (lb _f) | (kN) | (lb _f) | (kN) | (lb _m /ft) | (kg/m) |
| 1/4 | 6.4 | 5480 | 24,4 | 1100 | 4.89 | 0.11 | 0.16 |
| 5/16 | 8 | 8520 | 37,9 | 1700 | 7.56 | 0.16 | 0.24 |
| 3/8 | 9.5 | 12200 | 54,3 | 2440 | 10.9 | 0.24 | 0.36 |
| 7/16 | 11.5 | 16540 | 73,6 | 3310 | 14.7 | 0.32 | 0.48 |
| 1/2 | 13 | 21400 | 95,2 | 4280 | 19.0 | 0.42 | 0.63 |
| 9/16 | 14.5 | 27000 | 120 | 5400 | 24.0 | 0.53 | 0.79 |
| 5/8 | 16 | 33400 | 149 | 6680 | 29.7 | 0.66 | 0.98 |

Tableau 1 : Résistance minimale à la rupture et charge maximale sécuritaire pour un câble en acier à âme en fibre non revêtue (FC), en acier amélioré pour la charrue (IPS). (Source : Engineering Toolbox)

Tour en treillis

Une tour pyramidale en treillis de 7,5 m par 0,80 cm avec des charges axiales uniquement ; les cordes sont en fer d'angle S275 de 70,6 mm et les contreventements sont en fer d'angle S275 de 40,4 mm (voir tableau 1).

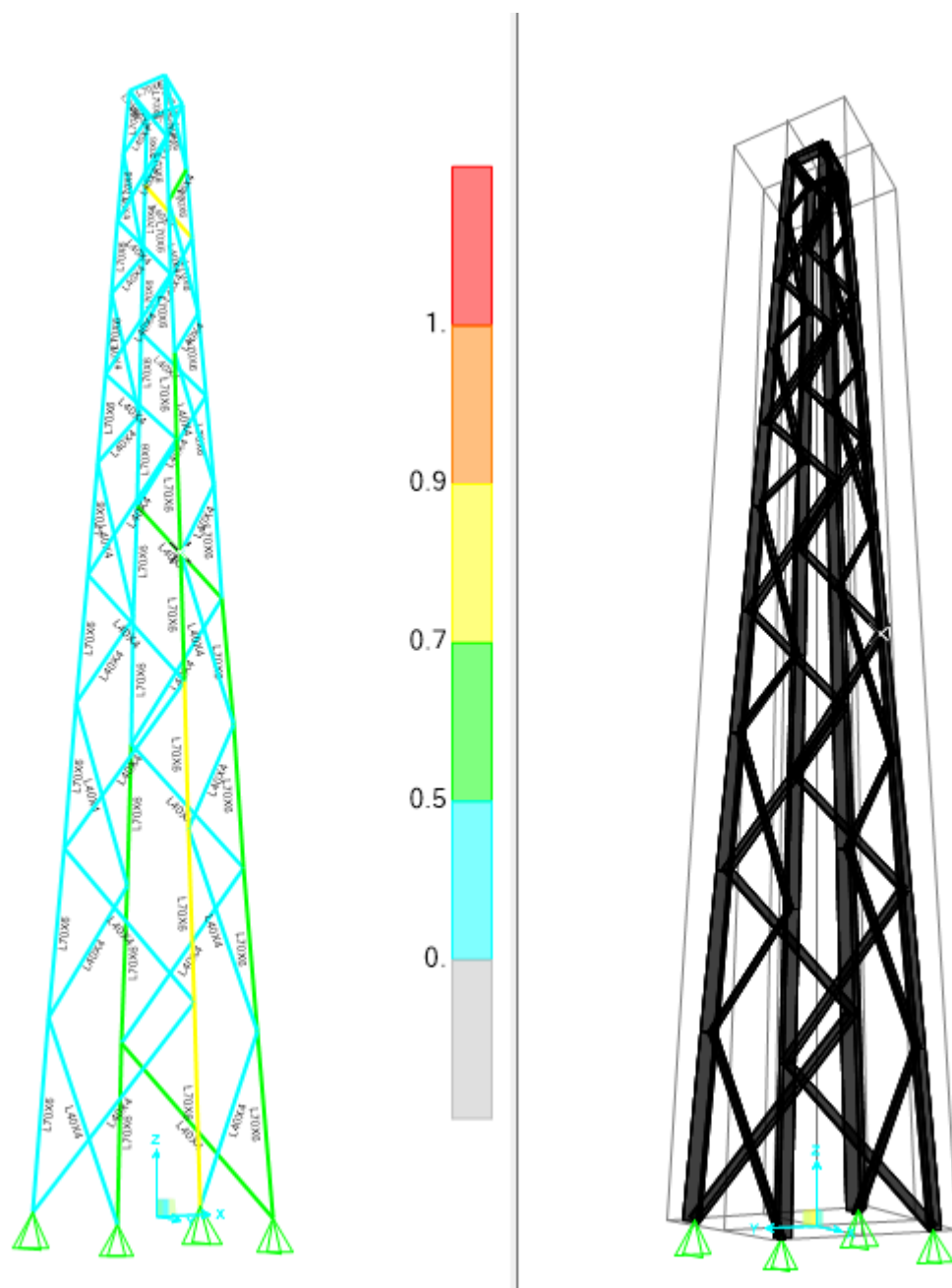


Figure 14. Vue au sol de la tour en treillis (à droite) et rapport des membres (à gauche) pour la combinaison de charges la moins favorable.

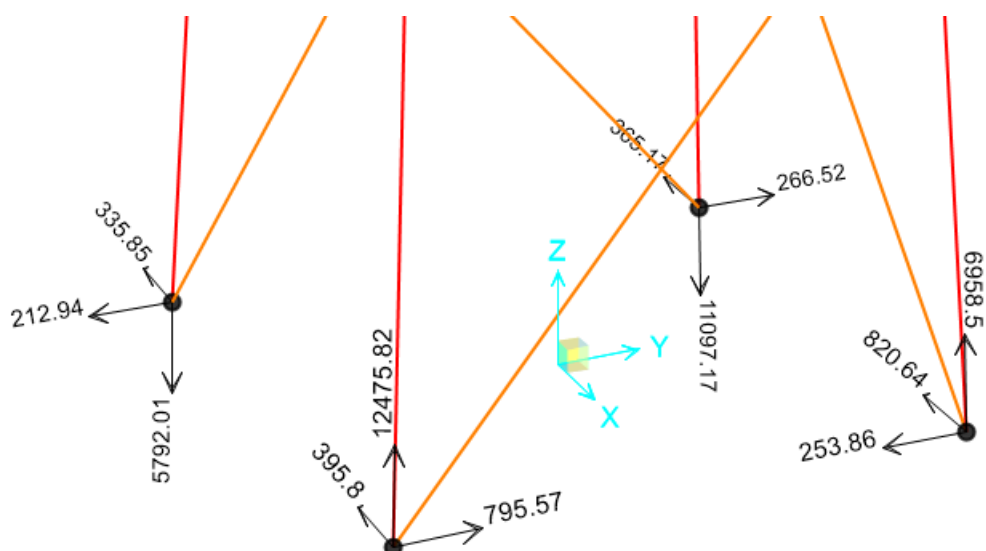


Figure 15. Réactions sur les supports de la tour en kgf (enveloppe maximale).

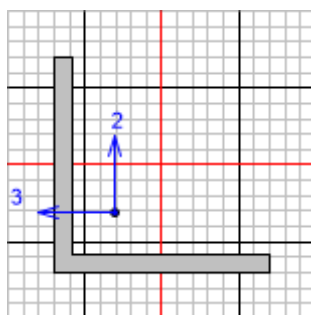
Résultats de l'élément du cadre

| TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC 360-10 | | | | |
|--|------------|------------|----------|-------|
| Frame | DesignSect | DesignType | Ratio | Combo |
| Text | Text | Text | Unitless | Text |
| 112 | L70X6 | Column | 0.769832 | DSTL1 |
| 113 | L70X6 | Column | 0.760744 | DSTL1 |
| 172 | L40X4 | Brace | 0.72088 | DSTL1 |
| 114 | L70X6 | Column | 0.700414 | DSTL1 |
| 115 | L70X6 | Column | 0.674922 | DSTL1 |
| 144 | L70X6 | Column | 0.650324 | DSTL5 |
| 143 | L70X6 | Column | 0.605781 | DSTL5 |
| 116 | L70X6 | Column | 0.58977 | DSTL1 |
| 100 | L70X6 | Column | 0.584226 | DSTL1 |
| 141 | L40X4 | Brace | 0.577431 | DSTL6 |
| 117 | L70X6 | Column | 0.555008 | DSTL1 |
| 145 | L70X6 | Column | 0.550503 | DSTL5 |
| 146 | L70X6 | Column | 0.547257 | DSTL5 |
| 98 | L70X6 | Column | 0.540909 | DSTL1 |
| 164 | L40X4 | Brace | 0.540749 | DSTL5 |
| 99 | L70X6 | Column | 0.527699 | DSTL1 |

| | | | | |
|-----|-------|--------|----------|-------|
| 168 | L40X4 | Brace | 0.510792 | DSTL1 |
| 170 | L40X4 | Brace | 0.49969 | DSTL1 |
| 166 | L40X4 | Brace | 0.484397 | DSTL5 |
| 82 | L70X6 | Column | 0.484094 | DSTL3 |
| 96 | L70X6 | Column | 0.477992 | DSTL1 |
| 81 | L70X6 | Column | 0.452501 | DSTL3 |
| 148 | L70X6 | Column | 0.45068 | DSTL5 |
| 97 | L70X6 | Column | 0.450267 | DSTL1 |
| 118 | L70X6 | Column | 0.444215 | DSTL1 |
| 196 | L40X4 | Brace | 0.440037 | DSTL1 |
| 152 | L70X6 | Column | 0.427708 | DSTL6 |
| 83 | L70X6 | Column | 0.427412 | DSTL3 |
| 147 | L70X6 | Column | 0.422668 | DSTL5 |
| 119 | L70X6 | Column | 0.418838 | DSTL6 |
| 137 | L40X4 | Brace | 0.416084 | DSTL6 |
| 139 | L40X4 | Brace | 0.411701 | DSTL6 |
| 94 | L70X6 | Column | 0.391216 | DSTL1 |
| 84 | L70X6 | Column | 0.388036 | DSTL3 |
| 150 | L70X6 | Column | 0.373972 | DSTL5 |
| 95 | L70X6 | Column | 0.370701 | DSTL4 |
| 171 | L40X4 | Brace | 0.355817 | DSTL1 |
| 135 | L40X4 | Brace | 0.35479 | DSTL4 |
| 85 | L70X6 | Column | 0.335403 | DSTL3 |
| 133 | L40X4 | Brace | 0.323667 | DSTL6 |
| 132 | L70X6 | Beam | 0.321314 | DSTL6 |
| 197 | L40X4 | Brace | 0.321202 | DSTL6 |
| 86 | L70X6 | Column | 0.309033 | DSTL3 |
| 149 | L70X6 | Column | 0.305483 | DSTL5 |
| 92 | L70X6 | Column | 0.279127 | DSTL4 |
| 103 | L40X4 | Brace | 0.277288 | DSTL5 |
| 140 | L40X4 | Brace | 0.263563 | DSTL6 |
| 169 | L40X4 | Brace | 0.258205 | DSTL1 |
| 87 | L70X6 | Column | 0.254059 | DSTL3 |
| 105 | L40X4 | Brace | 0.252325 | DSTL3 |
| 93 | L70X6 | Column | 0.241646 | DSTL4 |
| 120 | L70X6 | Column | 0.231909 | DSTL1 |
| 167 | L40X4 | Brace | 0.23133 | DSTL5 |
| 198 | L40X4 | Brace | 0.218358 | DSTL3 |
| 109 | L40X4 | Brace | 0.215945 | DSTL3 |
| 88 | L70X6 | Column | 0.21035 | DSTL3 |
| 121 | L70X6 | Column | 0.2084 | DSTL6 |
| 70 | L70X6 | Beam | 0.205755 | DSTL5 |
| 138 | L40X4 | Brace | 0.200229 | DSTL6 |
| 107 | L40X4 | Brace | 0.198202 | DSTL5 |
| 165 | L40X4 | Brace | 0.196812 | DSTL5 |
| 79 | L40X4 | Brace | 0.186175 | DSTL5 |

| | | | | |
|-----|-------|--------|----------|--------|
| 102 | L40X4 | Brace | 0.185451 | DSTL10 |
| 101 | L70X6 | Beam | 0.180932 | DSTL5 |
| 136 | L40X4 | Brace | 0.180116 | DSTL6 |
| 151 | L70X6 | Column | 0.178969 | DSTL5 |
| 134 | L40X4 | Brace | 0.175985 | DSTL6 |
| 91 | L70X6 | Column | 0.165133 | DSTL1 |
| 163 | L70X6 | Beam | 0.16234 | DSTL5 |
| 75 | L40X4 | Brace | 0.161644 | DSTL5 |
| 73 | L40X4 | Brace | 0.159984 | DSTL5 |
| 89 | L70X6 | Column | 0.15723 | DSTL3 |
| 77 | L40X4 | Brace | 0.154102 | DSTL3 |
| 110 | L40X4 | Brace | 0.15226 | DSTL5 |
| 104 | L40X4 | Brace | 0.14643 | DSTL5 |
| 78 | L40X4 | Brace | 0.140149 | DSTL5 |
| 195 | L40X4 | Brace | 0.133835 | DSTL5 |
| 72 | L40X4 | Brace | 0.131474 | DSTL5 |
| 106 | L40X4 | Brace | 0.130931 | DSTL5 |
| 74 | L40X4 | Brace | 0.12939 | DSTL5 |
| 76 | L40X4 | Brace | 0.1293 | DSTL5 |
| 71 | L40X4 | Brace | 0.12366 | DSTL3 |
| 108 | L40X4 | Brace | 0.122526 | DSTL5 |
| 90 | L70X6 | Column | 0.065544 | DSTL5 |

Vérification de la colonne



AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, mm, C

| | | | |
|--------------|----------------|----------------|--------------------------|
| Frame : 112 | X Mid: 386.69 | Combo: DSTL1 | Design Type: Column |
| Length: 800. | Y Mid: -386.69 | Shape: L70X6 | Frame Type: SMF |
| Loc : 800. | Z Mid: 399.557 | Class: Compact | Princpl Rot: 45. degrees |

| | | |
|------------------|------------------------------|------------------------|
| Provision: LRFD | Analysis: Direct Analysis | Reduction: Tau-b Fixed |
| D/C Limit=0.95 | 2nd Order: General 2nd Order | EA factor=0.8 |
| AlphaPr/Py=0.528 | AlphaPr/Pe=0.253 | Tau_b=0.997 |
| | | EI factor=0.8 |

| | | | |
|----------|----------|-----------|------------|
| PhiB=0.9 | PhiC=0.9 | PhiTY=0.9 | PhiTF=0.75 |
|----------|----------|-----------|------------|

PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

| | | | | |
|----------------|----------------|-------------|----------------|----------|
| A=812.7 | I33=368800. | r33=21.302 | S33=7271.293 | Av3=420. |
| J=9648. | I22=368800. | r22=21.302 | S22=7271.293 | Av2=420. |
| Ixy=-224632.84 | Imax=593432.84 | rmax=27.022 | Smax=11989.154 | |
| Rot= 45. deg | Imin=144167.16 | rmin=13.319 | Smin=5226.339 | |
| E=21414.04 | Fy=28.042 | Ry=1.1 | z33=13540. | |
| RLLF=1. | Fu=43.848 | | z22=13540. | |

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo DSTL1)

| Location | Pu | Mu33 | Mu22 | Vu2 | Vu3 | Tu |
|----------|------------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| 800. | -12043.524 | 11575.219 | 10245.681 | -11.841 | -14.701 | -57.165 |

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H2-1)

D/C Ratio: 0.77 = 0.72 + 0.045 + 0.005
= fa/Fa + fbw/Fbw + fbz/Fbz

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H2-1)

| Factor | L | K1 | K2 | B1 | B2 | Cm |
|---------------|----|----|----|----|----|-------|
| Major Bending | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 0.601 |
| Minor Bending | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. |

| | Lltb | Kltb | Cb |
|-----|------|------|----|
| LTB | 1. | 1. | 1. |

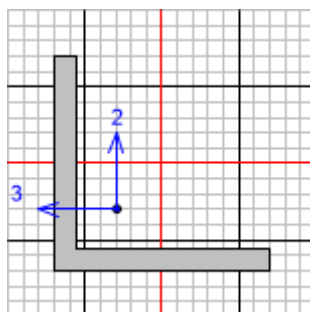
| | Pu Force | phi*Pnc Capacity | phi*Pnt Capacity |
|-------|-------------|---------------------|---------------------|
| Axial | -12043.524 | 16728.807 | 20510.903 |

| | Mu Moment | phi*Mn Capacity | phi*Mn No LTB | phi*Mn Cb=1 |
|--------------|--------------|--------------------|------------------|----------------|
| Major Moment | 15429.707 | 341722.192 | 341722.192 | 441674.854 |
| Minor Moment | -940.125 | 197853.313 | | |

SHEAR CHECK

| | Vu | phi*Vn Capacity | Stress Ratio | Status Check |
|-------------|--------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Major Shear | 11.841 | 6359.97 | 0.002 | OK |
| Minor Shear | 14.701 | 6359.97 | 0.002 | OK |

Vérification du contreventement



AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, mm, C

| | | | |
|-----------------|----------------|--------------|--------------------|
| Frame : 172 | X Mid: 11.646 | Combo: DSTL1 | Design Type: Brace |
| Length: 791.786 | Y Mid: 185.383 | Shape: L40X4 | Frame Type: SMF |

Proposition de conception - Système de protection des puits dans les oueds (P2W), 2025.

Loc : 791.786 Z Mid: 6442.855 Class: Compact Princpl Rot: 45. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.309 AlphaPr/Pe=0.453 Tau_b=1. EA factor=0.8 EI factor=0.8

PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=307.9 I33=44720. r33=12.052 S33=1552.778 Av3=160.
J=1621. I22=44720. r22=12.052 S22=1552.778 Av2=160.
Ixy=-27277.79 Imax=71997.79 rmax=15.292 Smax=2545.506
Rot= 45. deg Imin=17442.21 rmin=7.527 Smin=1088.729
E=21414.04 Fy=28.042 Ry=1.1 z33=2910.
RLLF=1. Fu=43.848 z22=2910.

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo DSTLI)

| Location | Pu | Mu33 | Mu22 | Vu2 | Vu3 | Tu |
|----------|----------|----------|----------|--------|-------|--------|
| 791.786 | -2664.54 | 3592.739 | 1238.171 | -3.126 | 0.426 | 12.283 |

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H2-1)

D/C Ratio: 0.721 = 0.634 + 0.047 + 0.04
= fa/Fa + fbw/Fbw + fbz/Fbz

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H2-1)

| Factor | L | K1 | K2 | B1 | B2 | Cm |
|---------------|----|----|----|----|----|----|
| Major Bending | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. |
| Minor Bending | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. |

| | Lltb | Kltb | Cb |
|-----|------|------|----|
| LTB | 1. | 1. | 1. |

| | Pu Force | phi*Pnc Capacity | phi*Pnt Capacity |
|-------|-------------|---------------------|---------------------|
| Axial | -2664.54 | 4202.925 | 7770.773 |

| | Mu Moment | phi*Mn Capacity | phi*Mn No LTB | phi*Mn Cb=1 |
|--------------|--------------|--------------------|------------------|----------------|
| Major Moment | 3415.969 | 73442.509 | 73442.509 | 87762.684 |
| Minor Moment | -1664.932 | 41215.968 | | |

SHEAR CHECK

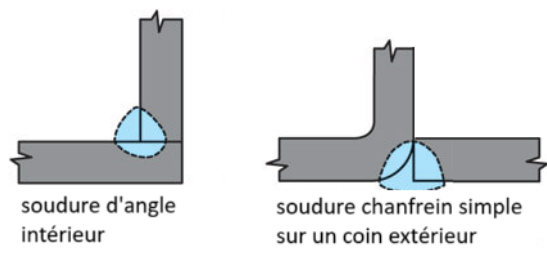
| | Vu Force | phi*Vn Capacity | Stress Ratio | Status Check |
|-------------|-------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Major Shear | 3.126 | 2422.846 | 0.001 | OK |
| Minor Shear | 0.426 | 2422.846 | 0. | OK |

BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS

| | P Comp | P Tens |
|-------|-----------|-----------|
| Axial | -2674.003 | 0. |

Force de soudure

Il y aura deux types de soudures :



$$\Phi = 0,75 \text{ (LRFD)}$$

Chanfrein sur coin extérieur

Pas prévue.

Soudure d'angle

$$R_n = F_{nw} A_{we}$$

$$F_{nw} = 0.60 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \theta), \text{ ksi (MPa)}$$

Pour le profilé L40.4 : la gorge effective est 70% de t, 2,8 mm. F_{EXX} est pris égal à celui du métal.

$$0,75 R_n = 0,60 \times 235 \times 1,5 \times 2,8 \text{ mm}^2 \times 0,75 = 444,15 \text{ N/mm ou } 0,444 \text{ kN/mm résistance LRFD}$$

$$\Omega \text{ contribution corrigée du cordon de soudure en chanfrein en biseau} = 100 \times 0,444 \text{ kN} / 2 = 22,2 \text{ KN Ok}$$

Pour le profilé L 70.6 : la gorge effective est 70% de t, 4,2 mm. F_{EXX} est pris égal à celui du métal.

$$0,75 R_n = 0,60 \times 235 \times 1,5 \times 2,4 \text{ mm}^2 \times 0,75 = 666,3 \text{ N/mm ou } 0,666 \text{ kN/mm résistance LRFD}$$

$$\Omega \text{ contribution corrigée du cordon de soudure en chanfrein en biseau} = 100 \times 0,666 \text{ kN} / 2 = 33,3 \text{ KN Ok}$$

Les cadres doivent être soudés sur toutes leurs surfaces de contact (voir dans les détails de construction).

Assemblages boulonnés

Les assemblages boulonnés de ces structures en treillis sont bien connus dans la pratique, aucun calcul n'est jugé nécessaire.

Pour les jonctions des travées de la tour, deux boulons sont requis pour la redondance. Les boulons doivent être **de taille M14 de qualité 5.8 ou supérieure sur un trou de 16 mm**. La distance jusqu'au bord du profilé serait d'au moins 18 mm et la séparation entre les boulons de 7 cm.

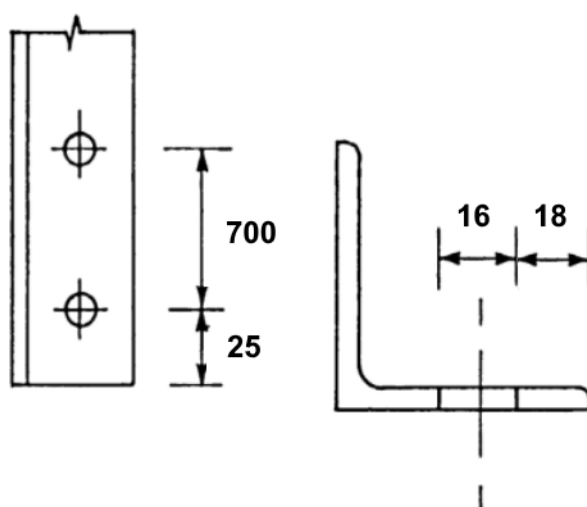


Figure 12 : Détails de la construction des jonctions boulonnées des travées. Les boulons sont de taille M14 de qualité 5.8 ou supérieure sur un trou de 16 mm.

Calcul de stabilité

A. Pylônes dans les oueds

La structure repose sur du sable de rivière très fin et lâche. Des valeurs humides sont utilisées :

- Capacité portante : 0,15 kgf/cm² (J. Montoya).
- Angle de frottement aussi bas que 15°.

Affaissement

En utilisant la méthode de Terzaghi pour déterminer la capacité portante d'un sol sableux humide et lâche :

A. Données d'entrée

Type de sol Sable humide et lâche

Profondeur

(Df) 1 m

largeur 3 m

Cohesion (c') 0

γ 18 kN/m³

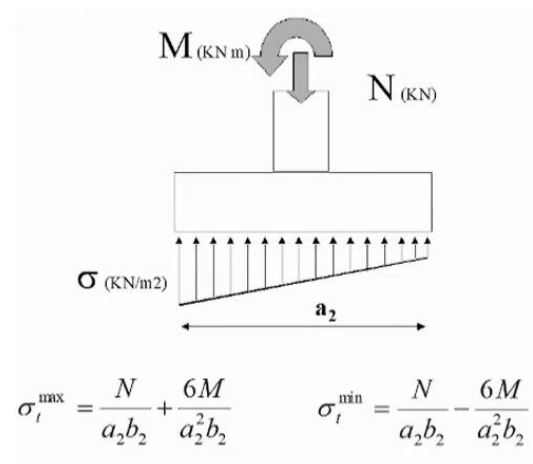
Coefficient de
sécurié (FS) 3

| ϕ | Nc | Nq | N γ |
|--------|-------|-------|------------|
| 15 | 12,86 | 4,45 | 1,52 |
| 20 | 17,69 | 7,44 | 3,64 |
| 26 | 27,9 | 14,21 | 9,84 |
| 30 | 37,16 | 22,46 | 19,13 |

B. Résultats

| ϕ | Qu (kN/m ²) | Qnet (KN/m ²) | Qnet (kg/cm ²) |
|--------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 15 | 112,932 | 37,644 | 0,38 |
| 20 | 212,544 | 70,848 | 0,72 |
| 26 | 468,324 | 156,108 | 1,59 |
| 30 | 817,488 | 272,496 | 2,78 |

La répartition de la charge d'une fondation carrée de 3x3 m (les triangles et cercles d'extrémité sont ignorés pour simplifier) est la suivante :



A. Données d'entrée

| | | |
|----|--------|------|
| N | 119,30 | kN |
| M | 112,5 | kN/m |
| a2 | 3 | m |
| b2 | 3 | m |

B. Résultats

| | | |
|-----------------------------|--------|------|
| Excentricité (e) | 0,94 | m |
| Tension (σ_{\max}) | 144,30 | kN/m |
| Tension (σ_{\min}) | 94,30 | kN/m |

144,30 < 156,1 Ok pour les sols dont l'angle de frottement est égal ou supérieur à 26 °. Ceux qui sont inférieurs à cela peuvent nécessiter une modification géométrique pour maintenir le facteur de sécurité à 3.

Renversement

Le cas le moins favorable est lorsque l'oued est en crue, ajoutant une force de flottaison qui réduit le poids de 2,5 T/m3 à 1,5 T/m3. Les coefficients de sécurité sont de 1,5 (déstabilisant) et 0,9 (stabilisant).

| Stabilisant | | F (kN) | d(m) | M (kN/m) |
|-------------|--|--------|------|----------|
| e1 | Poids de la fondation | 119,30 | 1,5 | 178,95 |
| e2 | Charge permanente et d'exploitation du caténaire | 6,47 | 1,5 | 9,70 |
| e3 | Poids de la structure du puits de tête | 10 | 1,5 | 15 |

Déstabilisant

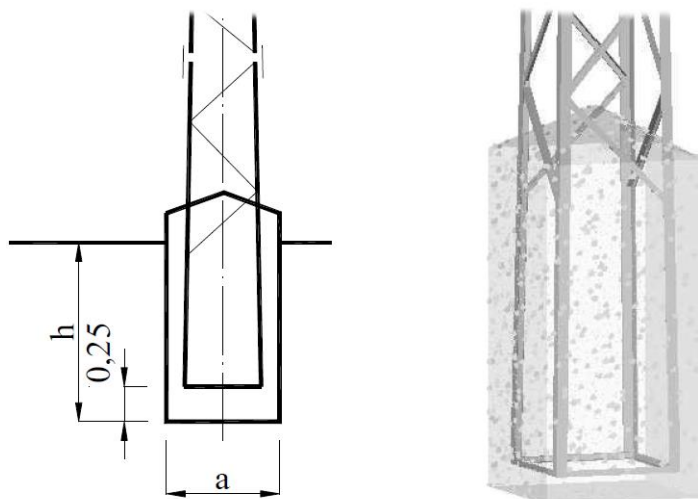
| | | | | |
|----|-------------------|------|---------|-------|
| d1 | Traction du câble | 15 | 7,5 | 112,5 |
| | Ratio | 1,63 | >1,5 ok | |

Glissement

| | | |
|--------------------|---------------------|---------|
| | Angle de frottement | 15 |
| Stabilisant (Vs) | 38,90 | kN |
| Déstabilisant (Vd) | 12,74 | kN |
| | 3,05 | >1,6 Ok |

B. Pylônes à l'extérieur de l'oued

La fondation est constituée d'un bloc de béton de masse HB-20 avec une section carrée. Le dessus est fini de manière pyramidale pour éviter les eaux stagnantes :



Les dimensions sont calculées en utilisant la **méthode de Sulzberger** avec un coefficient de sécurité de 1,5.

$$M_V = F \cdot \left(H_L + \frac{2}{3} h \right) = F \cdot \left(H - \frac{1}{3} h \right)$$

$$M_e = \frac{b \cdot h^3}{36} C_{tr} \cdot \tan \alpha + P \cdot a \left(0,5 - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P}{2 \cdot a^3 \cdot C_{tr} \cdot \tan \alpha}} \right)$$

Simplification pour $\tan \alpha = 0,01$

$$M_e = 139 \cdot k \cdot a \cdot h^4 + 2200 \cdot a^3 \cdot h \cdot 0,4$$

$$C_s = \frac{M_e}{M_v} \geq 1,5$$

Pour une fondation de 2,25 m de profondeur et 0,8 m de largeur dans les 2 sens, les résultats sont montrés ci-dessous :

A. Données d'entrée

| | | | |
|---|------|-----------|--------------|
| Charge (F) | 1500 | kg or daN | |
| Hauteur autoportante (HL) | 7,5 | m | |
| Hauteur du bloc (h) | 2,25 | m | |
| Côté (a=b) | 0,8 | m | |
| Coefficient de compressibilité du sol (k) | 8 | kg/cm3 | Sols pauvres |
| Coefficient de sécurité (Cs) | 1,5 | | |

B. Données secondaires

| | | |
|-----------------------|------|-----------|
| Hauteur du poteau (H) | 9,5 | m |
| Hauteur du bloc (P) | 3168 | kg or daN |

C. Résultats

| | | |
|---------------------------|---------|---------------|
| Moment stabilisant (Me) | 23813 | Kg/m or DaN/m |
| Moment déstabilisant (Mv) | 13125 | Kg/m or DaN/m |
| Mv*cs | 19687,5 | |

23813 > 19687 Ok

De manière alternative, si des fosses étroites ne peuvent pas être creusées, des fosses plus larges d'au moins 2 mètres de profondeur peuvent être creusées.

A. Don

| | | | |
|---|------|--------------------|--------------|
| Charge (F) | 1500 | kg or daN | |
| Hauteur autoportante (HL) | 7,5 | m | |
| Hauteur du bloc (h) | 2 | m | |
| Côté (a=b) | 1,3 | m | |
| Coefficient de compressibilité du sol (k) | 8 | kg/cm ³ | Sols pauvres |
| Coefficient de sécurité (Cs) | 1,5 | | |

B. Données secondaires

| | | |
|-----------------------|------|-----------|
| Hauteur du poteau (H) | 9,25 | m |
| Hauteur du bloc (P) | 7436 | kg or daN |

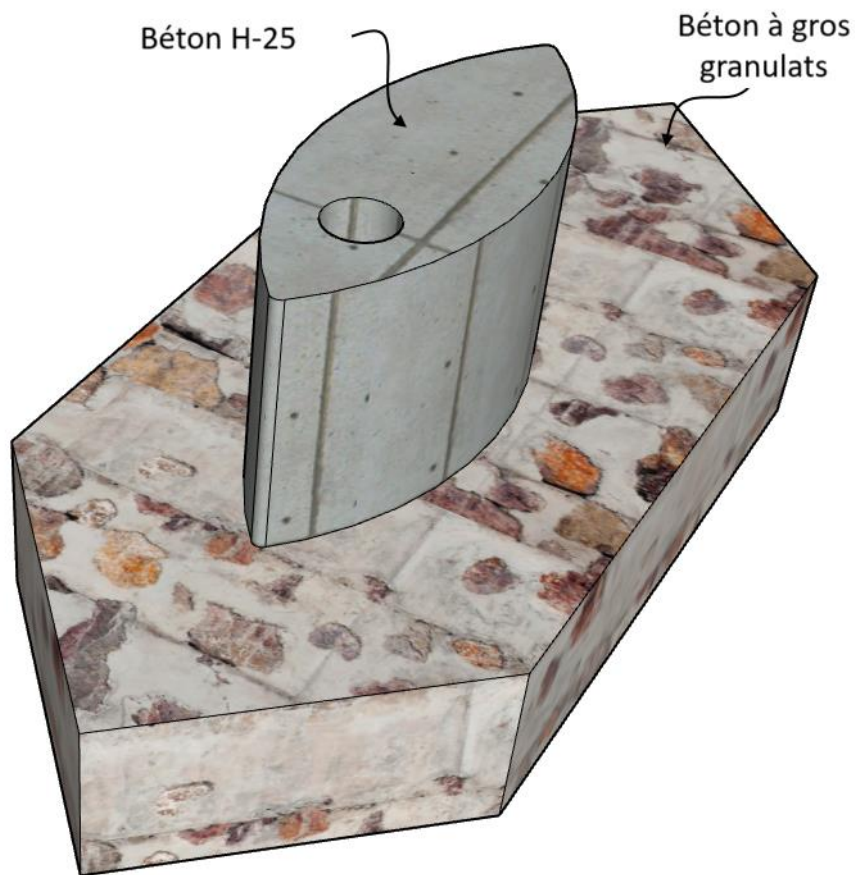
C. Résultats

| | | |
|---------------------------|---------|---------------|
| Moment stabilisant (Me) | 26996 | Kg/m or DaN/m |
| Moment déstabilisant (Mv) | 12875 | Kg/m or DaN/m |
| Mv*cs | 19312,5 | |

26996 > 19312 Ok.

Renforcement du béton de masse

La structure est constituée de **béton de masse renforcé pour éviter les fissures**. L'utilisation de béton cyclopéen dans la partie hexagonale (béton à gros granulats) permet d'économiser 30 à 40 % de béton en poids et de recycler la protection en gabion existante. Le voile est en béton H-25 standard.



Pour éviter une utilisation excessive de l'armature géométrique dans de grandes sections de béton de masse, seuls les 25 cm extérieurs sont pris en compte dans la formule comme prescrit dans le BS 6349-2.

Armature géométrique minimale (EHE) : (2‰)

$$\rho = A_s/A_c > 0,002 \quad 0,002 \times (25+25) \times 100/2 = 5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Armature nécessaire : **5Ø12 à 0,2 m** ($5,65 \text{ cm}^2 > 5 \text{ cm}^2/\text{m}$ Ok)

Le recouvrement des armatures est de 5-7 cm.

Les armatures sont montrées sur la figure 17.

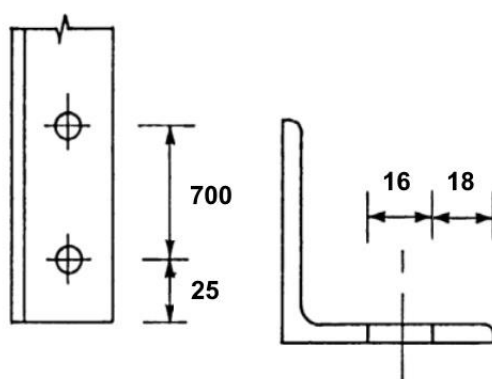
ANNEXE 3 : Détails de la construction

- La dalle de fondation doit avoir un dessus pyramidal pour éviter les eaux stagnantes qui peuvent corroder les cordes :



- Les travées de la tour doivent être jointes avec une plaque boulonnée avec deux boulons M14 de qualité 5.8 ou supérieure :

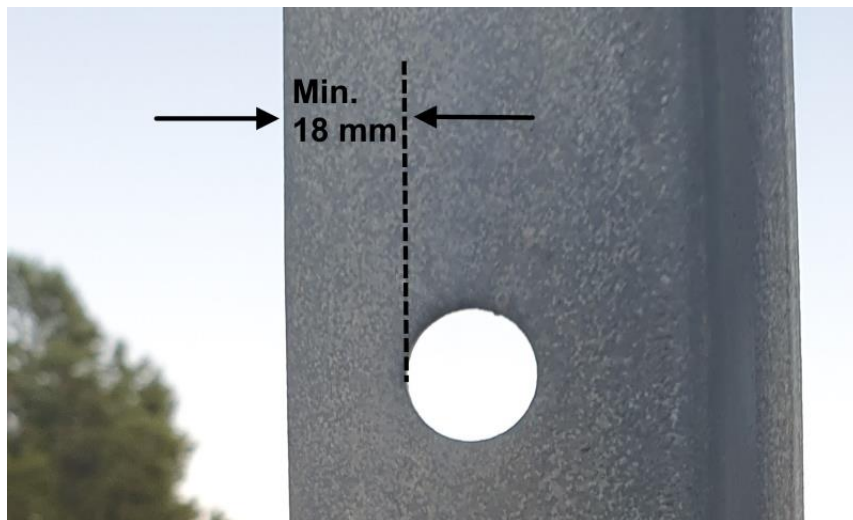




- Les filetages des boulons doivent être aplatis pour éviter tout desserrage accidentel dû aux vibrations. Utilisez des rondelles épaisses si elles sont disponibles :



- Respectez le diamètre des boulons et la marge d'arrachement :



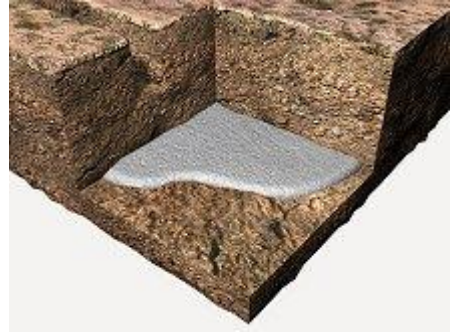
- Utilisez des profilés galvanisés et soudez avec des électrodes galvaniques plutôt que de peindre ; soudez tous les contours (voir les calculs de longueur minimale) :



- Pince de câble pour tuyau:



- Utilisez 10 cm de béton de propreté avant tout travail de bétonnage, pour niveler, éviter la contamination, placer des supports d'armature et maintenir des conditions d'humidité :



ANNEXE 4 : Dessins directeurs

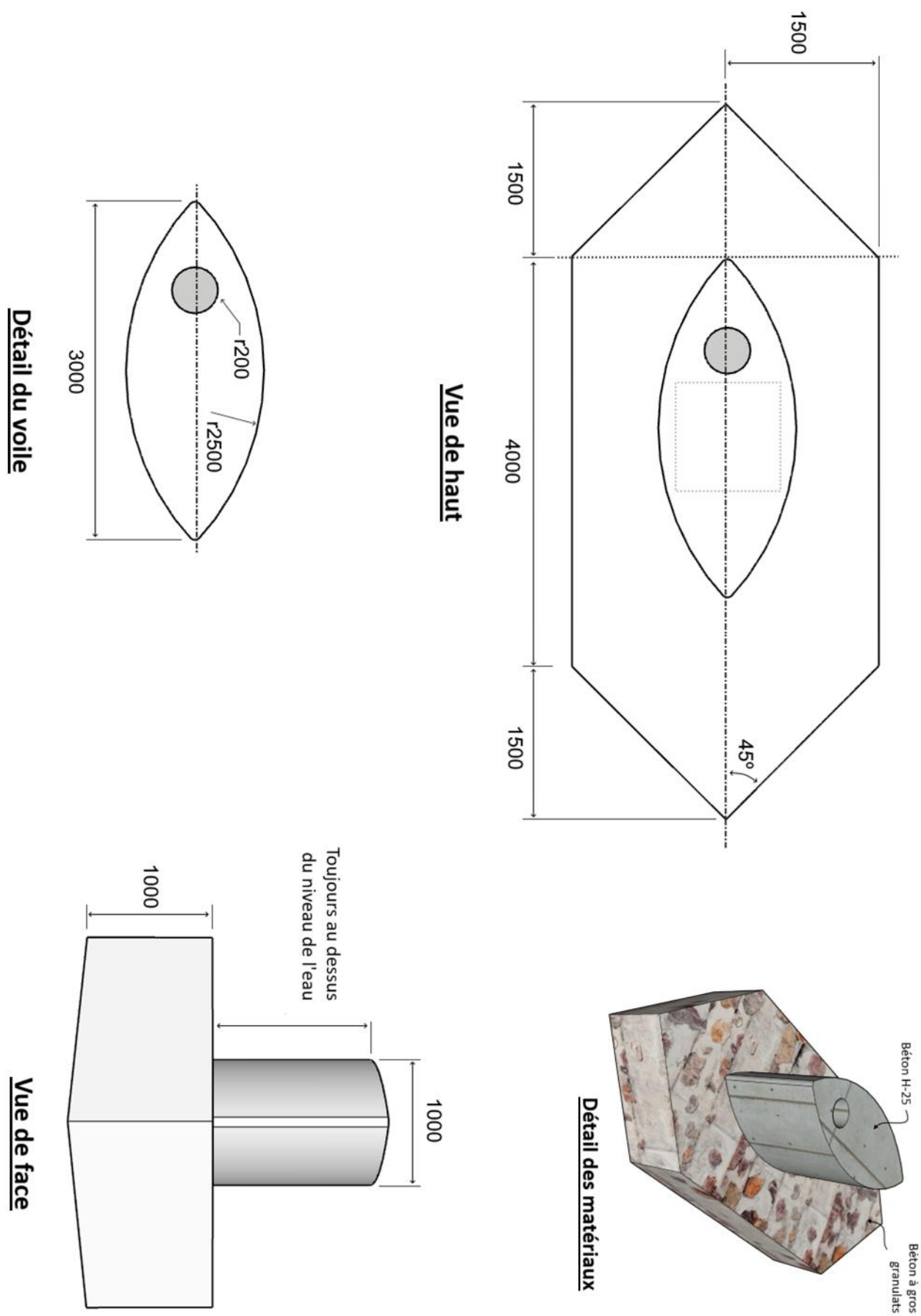
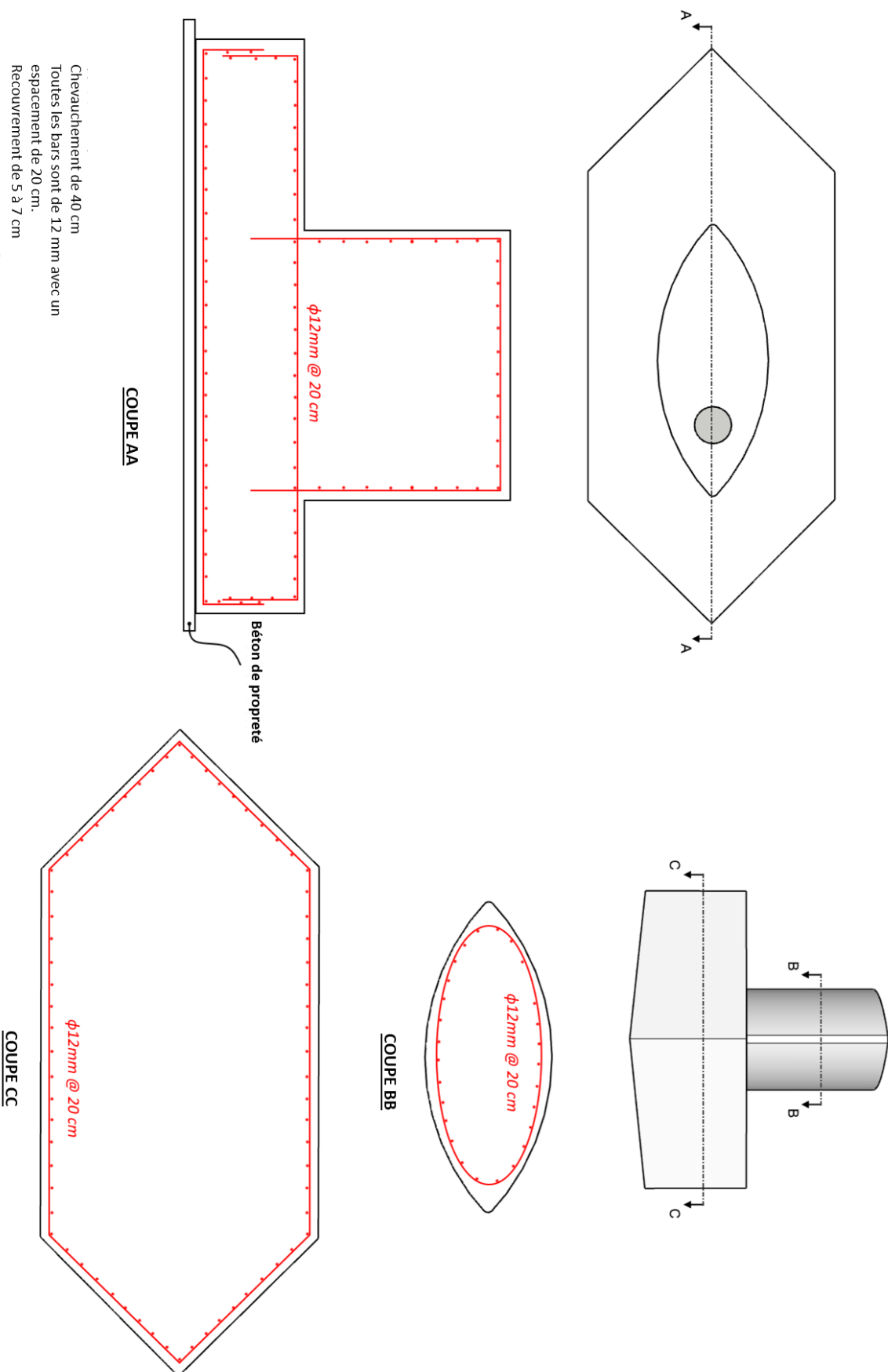


Figure 16. Spécification pour la base du contrepoids.



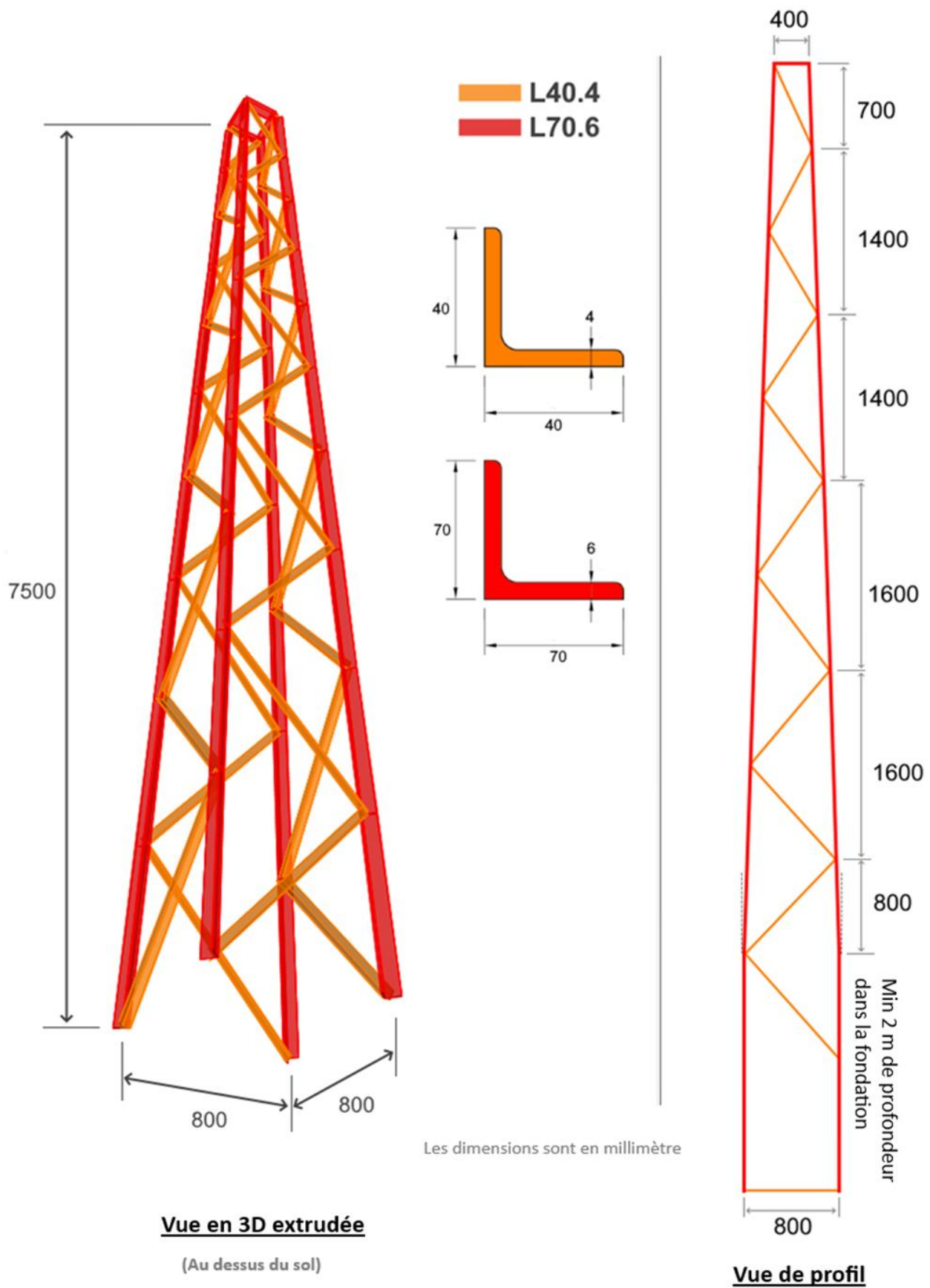
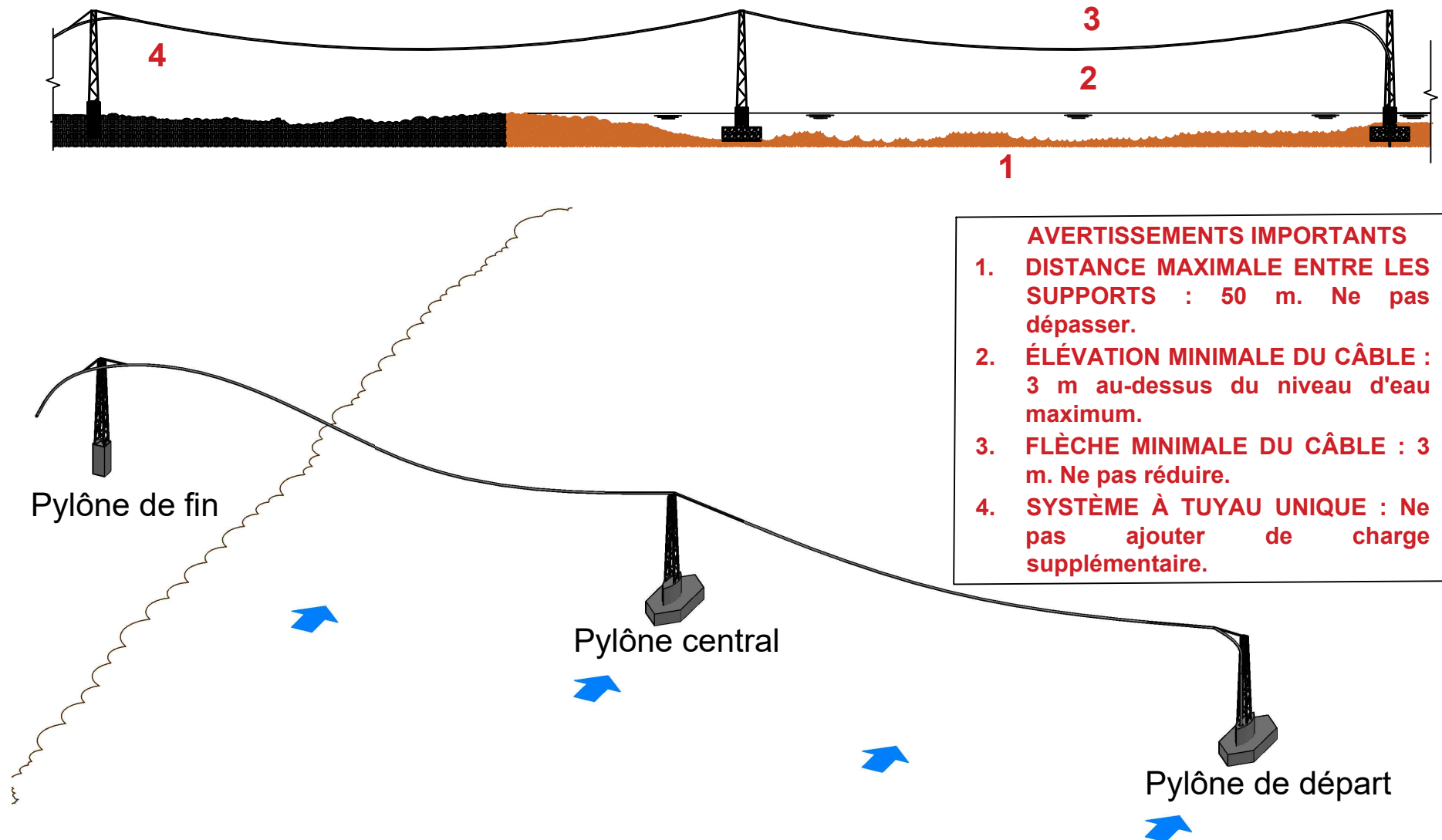


Figure 17. Détails de la tour en acier. Acier de qualité S275 ou supérieur.

ANNEXE 5 : Plans de construction

Version finale 1.0



Sur la base du rapport de conception:
"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
de protection des puits dans les oueds (P2W),
2022"

Numéro :

A-02.1

Titre :

**SYSTEME DE PROTECTION
DES PUIITS DANS LES OUEDS**
Aménagement de l'oued

Dessinateur :

Sheilla C. A

Contrôleur :

Arnalich S.

Echelle :

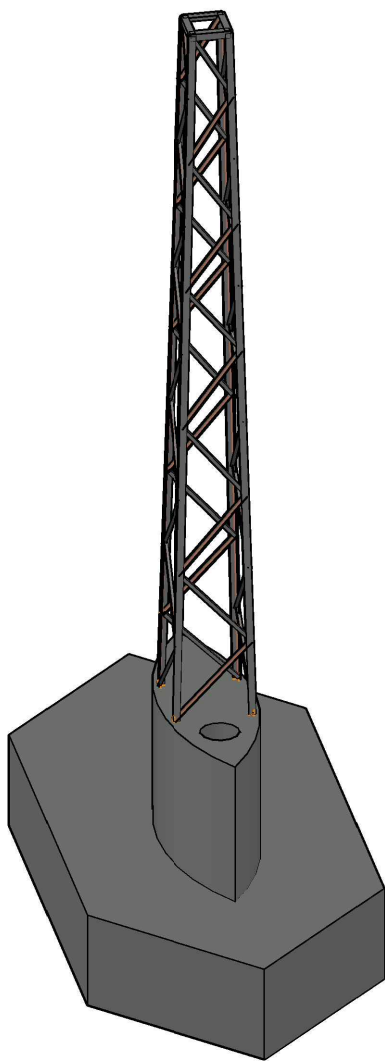
NTS

Date :

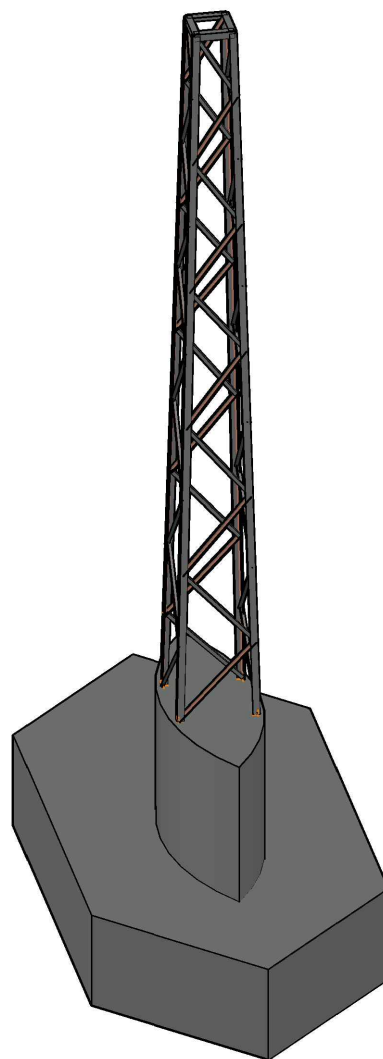
28/09/23



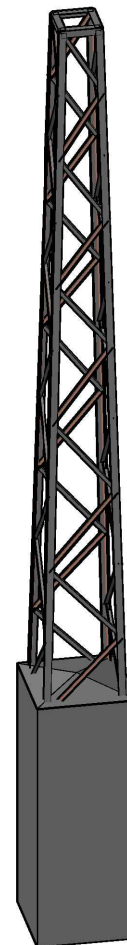
UNHCR
The UN Refugee Agency



Pylône de départ



Pylône central



Pylône de fin

Sur la base du rapport de conception:
"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
de protection des puits dans les oueds (P2W),
2022"

Numéro :

A-03.1

Titre :

**SYSTEME DE PROTECTION
DES OUIITS DANS LES OUEDS**
Vue en 3D des pylônes

Dessinateur :

Sheilla C. A

Contrôleur

Arnalich S.

Echelle :

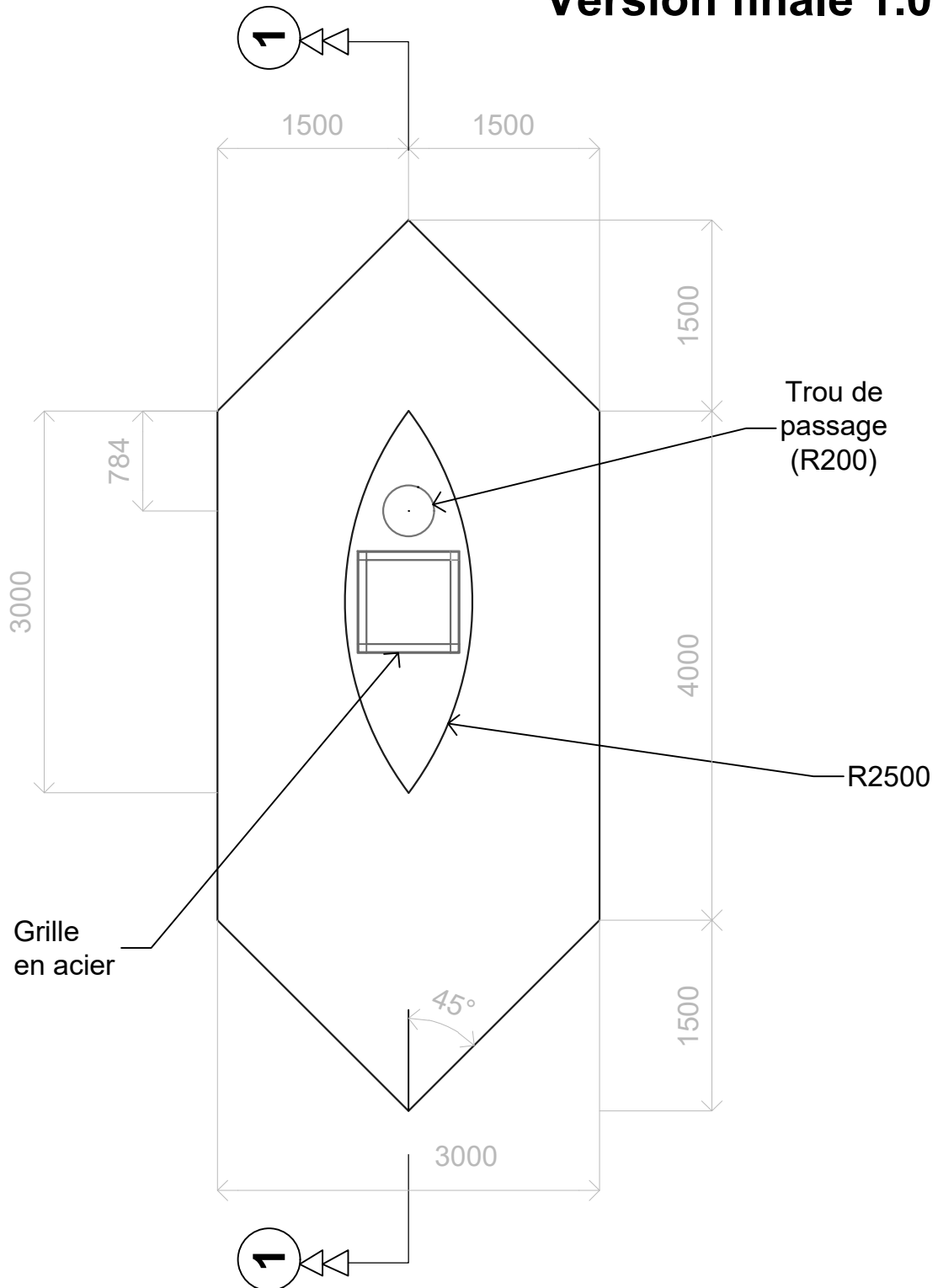
1/75

Date :

28/09/23



UNHCR
The UN Refugee Agency



PLAN

Sur la base du rapport de conception:
*"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
 de protection des puits dans les oueds (P2W),
 2022"*

Numéro :

A-04.1

Titre :

**SYSTEME DE PROTECTION
 DES PUIITS DANS LES OUEDS**
 Plan de la fondation du pylône
 de départ

Dessinateur :

Sheilla C. A

Contrôleur :

Arnalich S.

Echelle :

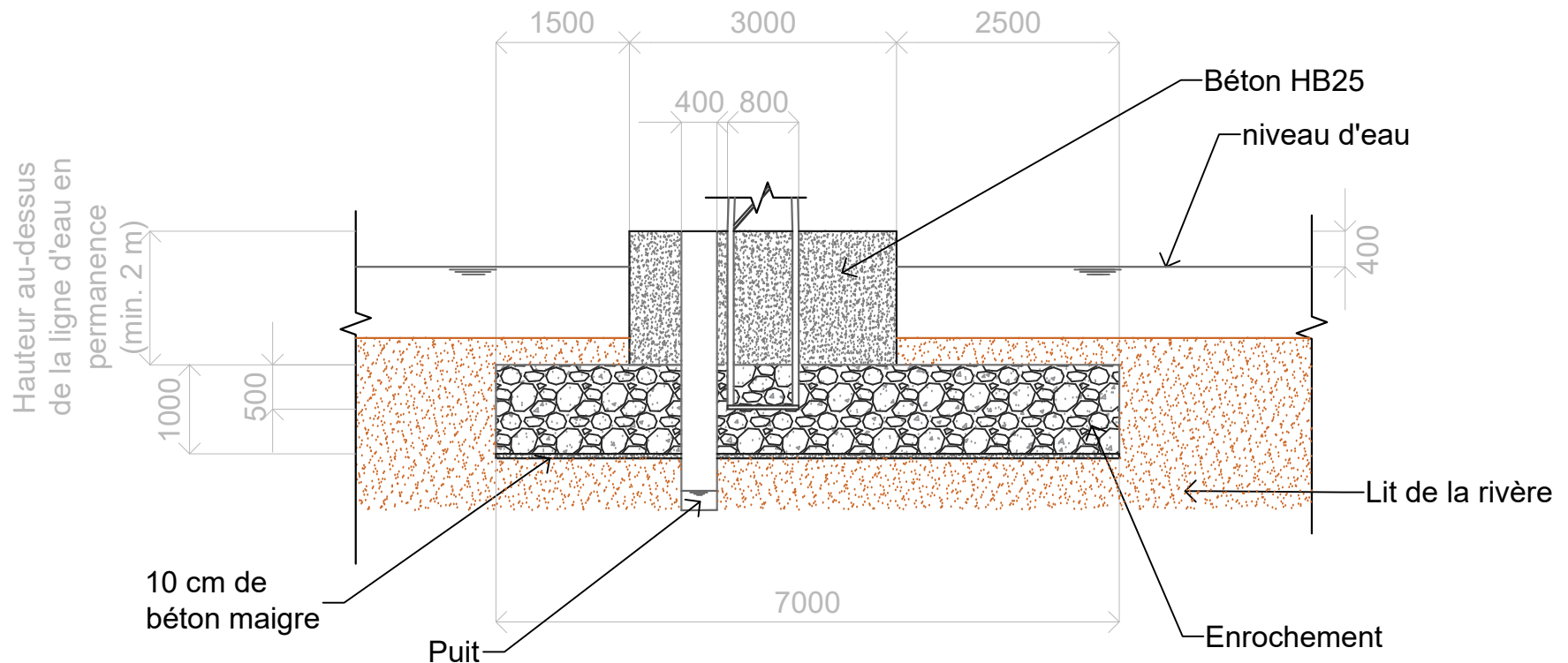
1/50

Date :

28/09/23



UNHCR
 The UN Refugee Agency



COUPE 1-1

REMARQUES

1. Toute la protection en béton doit être comprise entre 50 et 70 mm.
2. Le béton doit être de la classe spécifiée sur les plans, avec une consistance moyenne (75) et une taille maximale des granulats de 20 mm. La teneur minimale en ciment sera de 325 kg/m³ et le rapport eau-ciment maximal sera de 0,55.

Sur la base du rapport de conception:
"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
de protection des puits dans les oueds (P2W),
2022"

Numéro :

A-04.2

Titre :

**SYSTEME DE PROTECTION
DES PUIITS DANS LES OUEDS**
Section de la fondation du pylône
de départ

Dessinateur :

Sheilla C. A

Contrôleur :

Arnalich S.

Echelle :

1/75

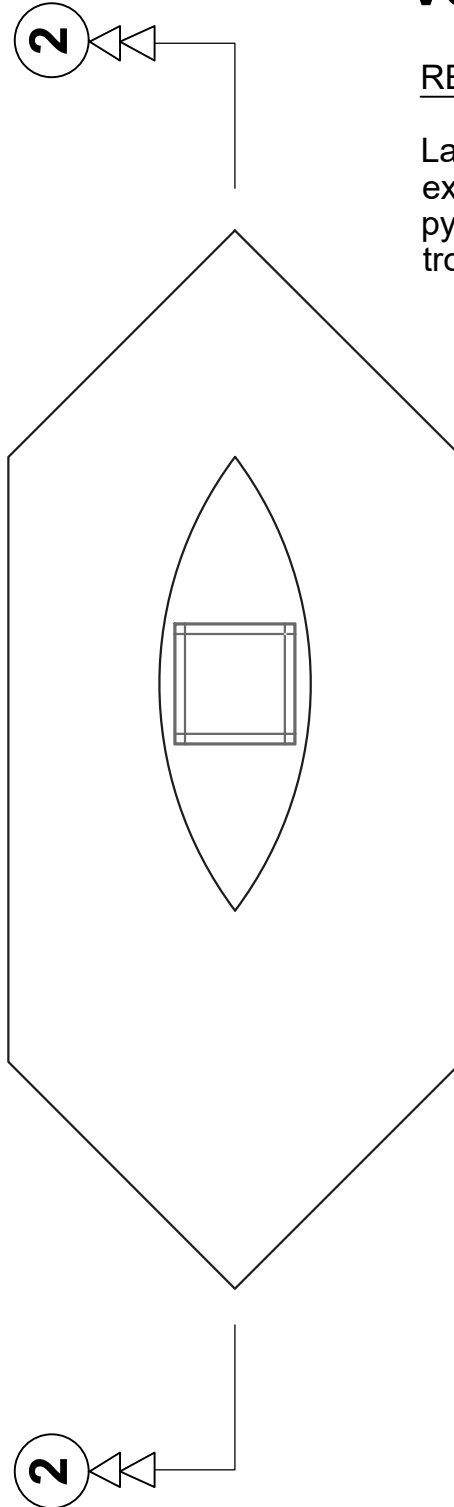
Date :

28/09/23

Version finale 1.0

REMARQUE :

La structure de la fondation est exactement la même que celle du pylône de départ, à l'exception du trou de passage



PLAN

Sur la base du rapport de conception:
"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
de protection des puits dans les oueds (P2W),
2022"

Numéro :

A-04.3

Titre :

**SYSTEME DE PROTECTION
DES PUIITS DANS LES OUEDS**

Plan de la fondation du pylône central

dessinateur :

Sheilla C. A

Contrôleuse :

Arnalich S.

Echelle :

1/50

Date :

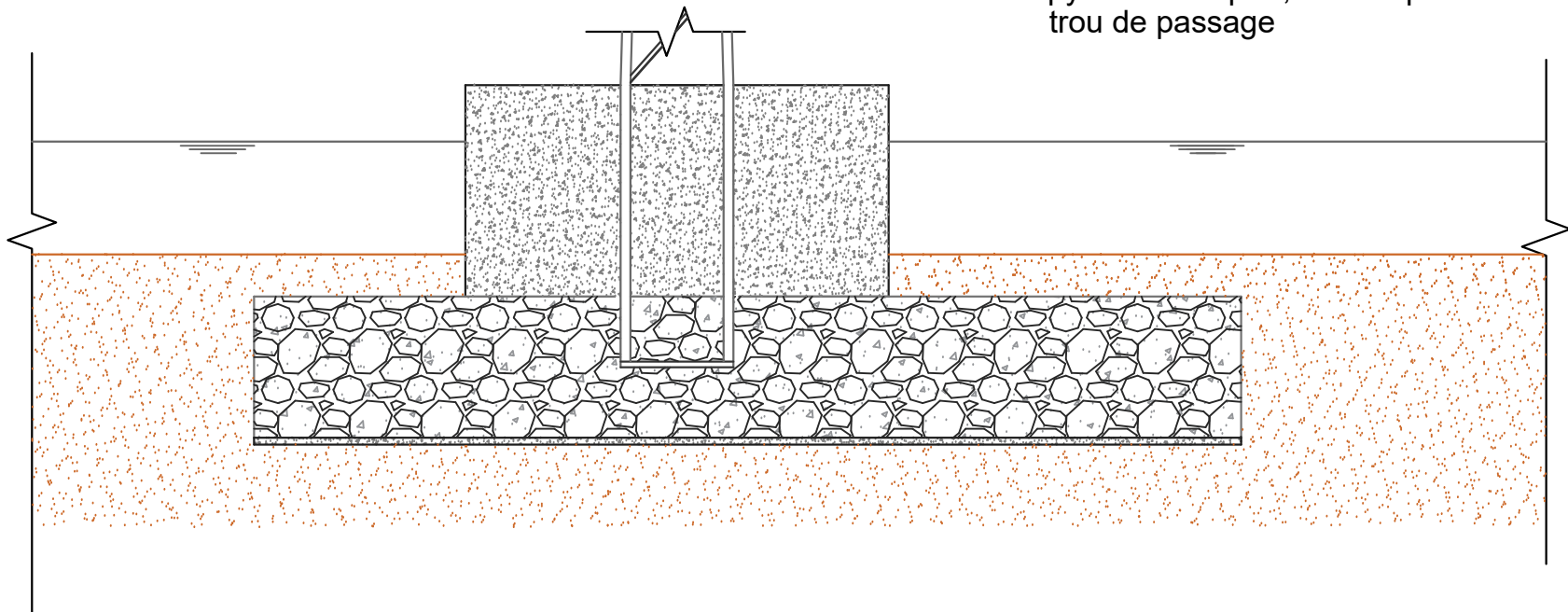
28/09/23



UNHCR
The UN Refugee Agency

REMARQUE :

La structure de la fondation est exactement la même que celle du pylône de départ, à l'exception du trou de passage



COUPE 2-2

Sur la base du rapport de conception:
"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
de protection des puits dans les oueds (P2W),
2022"

Numéro :

A-04.4

Titre :

**SYSTEME DE PROTECTION
DES PUIITS DANS LES OUEDS**
Section de la fondation du pylône
central

Dessinateur :

Sheilla C. A

Contrôleur :

Arnalich S.

Echelle :

1/50

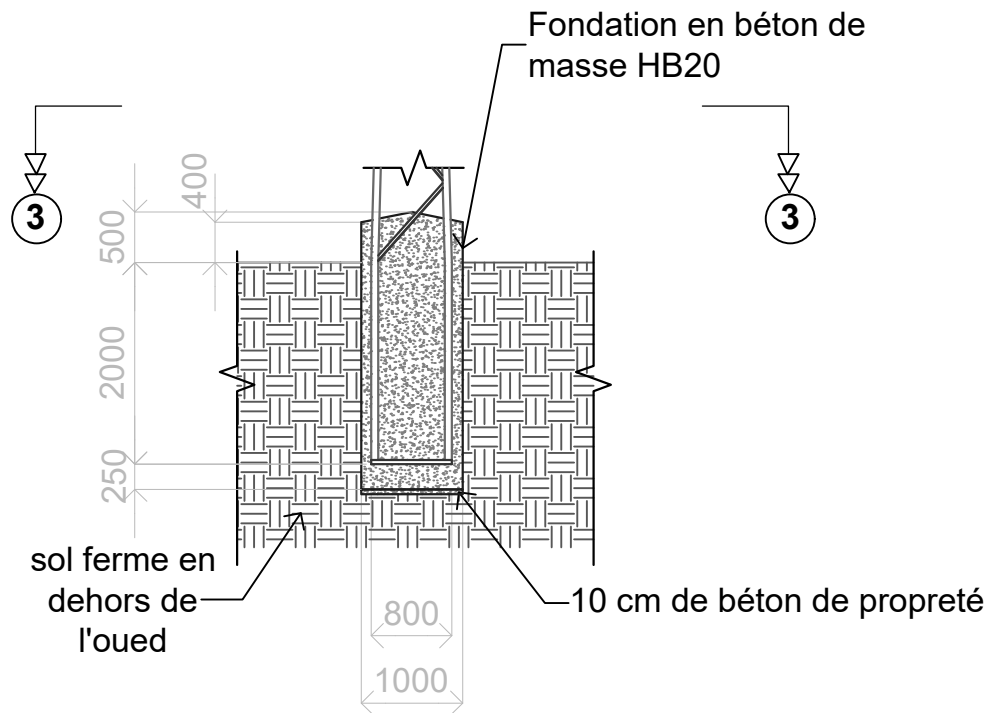
Date :

28/09/23



UNHCR
The UN Refugee Agency

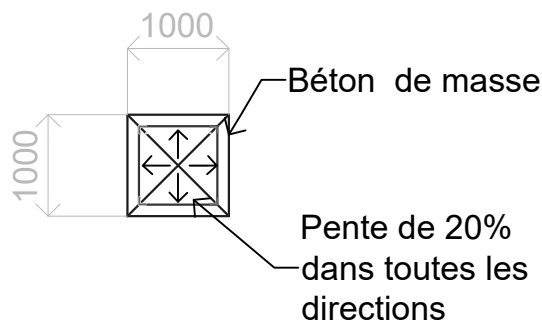
Version finale 1.0



ELEVATION


REMARQUES

1. Toute la protection en béton doit être comprise entre 50 et 70 mm.
2. Le béton doit être de la classe spécifiée sur les plans, avec une consistance moyenne (75) et une taille maximale des granulats de 20 mm. La teneur minimale en ciment sera de 325 kg/m³ et le rapport eau-ciment maximal sera de 0,55.

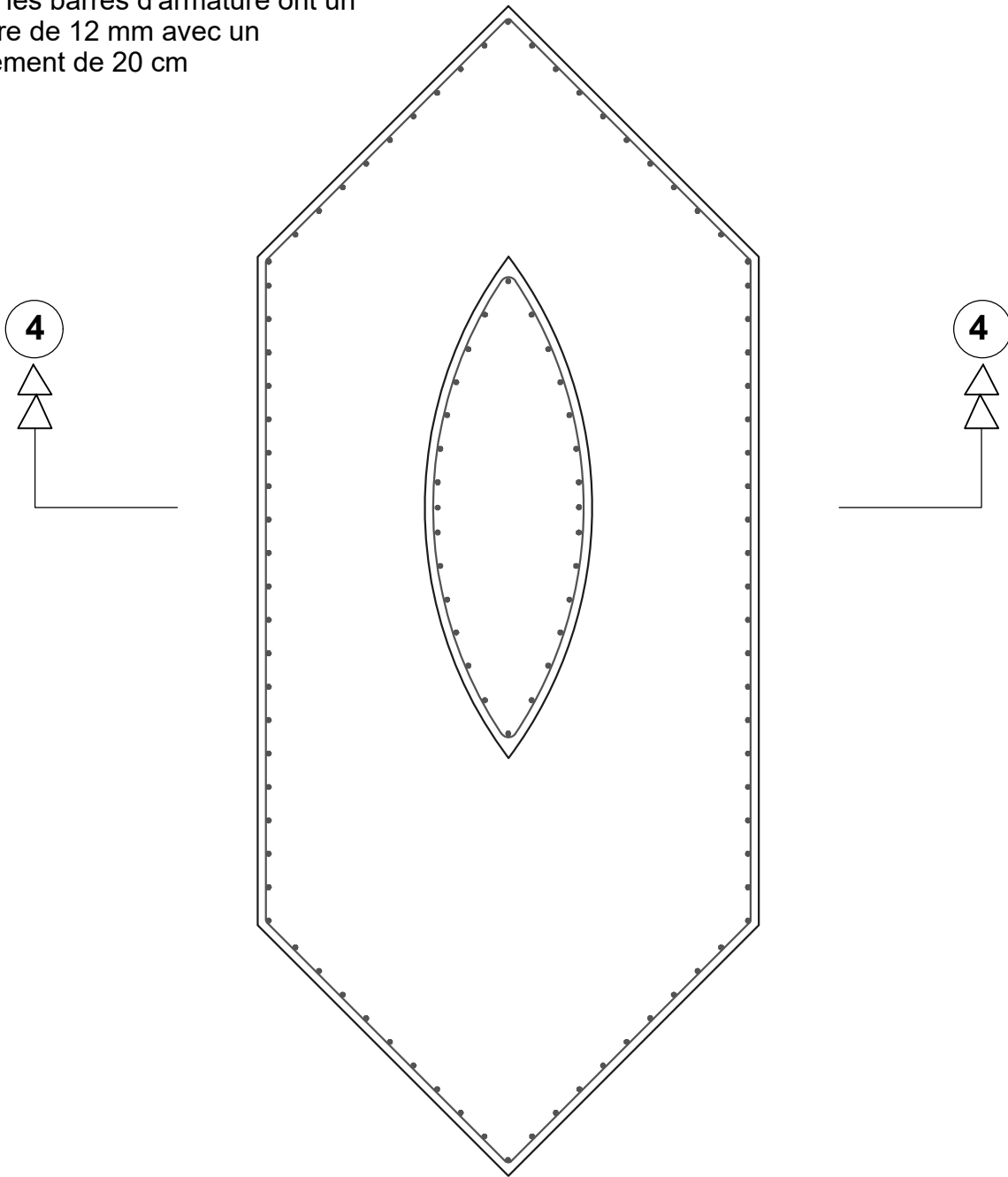


COUPE 3-3

Sur la base du rapport de conception:
"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
de protection des puits dans les oueds (P2W),
2022"


| | | | | |
|---------------|---|---------------|----------|---|
| Numéro : | Titre : | Dessinateur : | Echelle |  UNHCR The UN Refugee Agency |
| A-04.5 | SYSTEME DE PROTECTION DES PUIITS DANS LES OUEDS Détails de la fondation du pylône de fin | Sheilla C. A | 1/75 | |
| | | Contrôleur : | Date : | |
| | | Arnalich S. | 28/09/23 | |

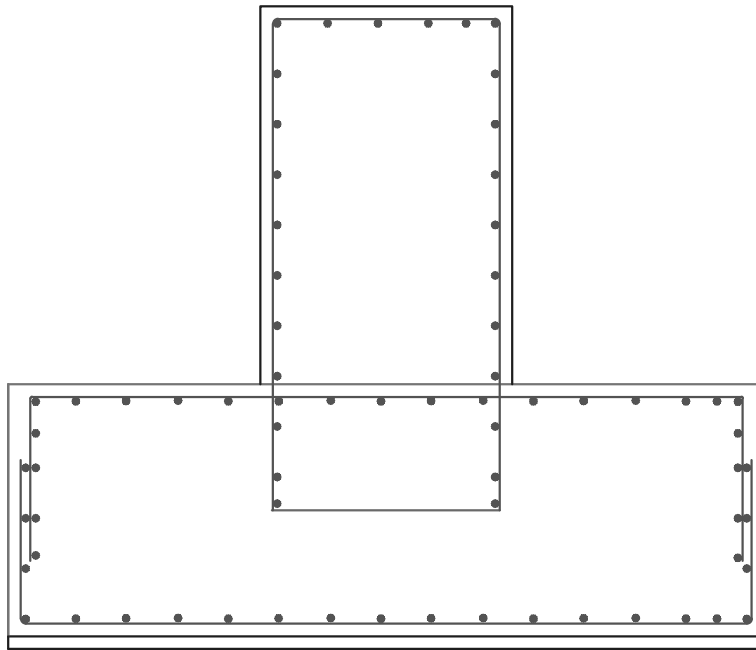
Toutes les barres d'armature ont un diamètre de 12 mm avec un espacement de 20 cm



PLAN

Sur la base du rapport de conception:
"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
de protection des puits dans les oueds (P2W),
2022"


| | | | | |
|---------------|--|------------------------------|--------------------|---|
| Numéro : | Titre : | Dessinateur : | Echelle : |  UNHCR The UN Refugee Agency |
| A-04.6 | SYSTEME DE PROTECTION DES PUIITS DANS LES OUEDS | Sheilla C. A | 1/40 | |
| | Schema d'armature | Controlleur : Arnalich S. | Date : 28/09/23 | |

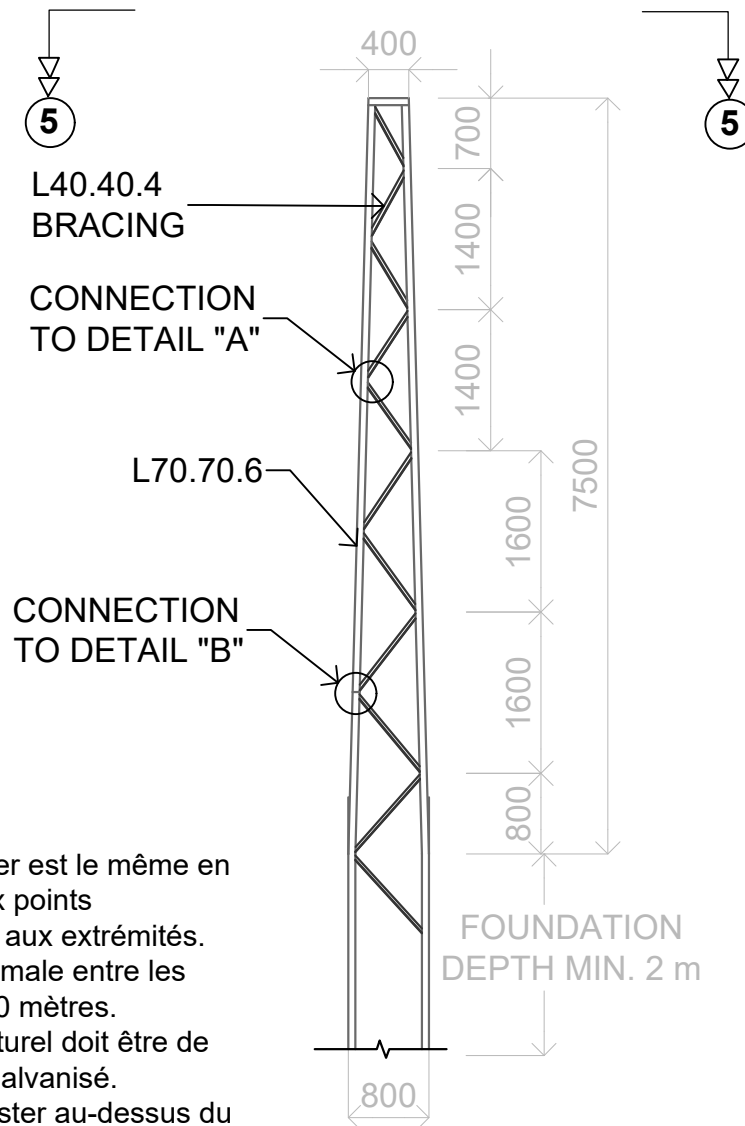


COUPE 4-4

Toutes les barres d'armature ont un diamètre de 12 mm avec un espacement de 20 cm

Sur la base du rapport de conception:
"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
de protection des puits dans les oueds (P2W),
2022"

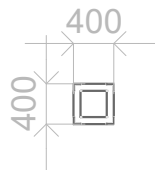
| | | | | |
|---------------------------|--|-------------------------------|--------------------|---|
| Numéro : A-04.7 | Titre : SYSTEME DE PROTECTION DES PUIITS DANS LES OUEDS Schéma d'armature | Dessinateur : Sheilla C. A | Echelle 1/40 |  UNHCR The UN Refugee Agency |
| | | Contrôleur : Arnalich S. | Date : 28/09/23 | |



REMARQUES


1. Le pylône en acier est le même en tête de puits, aux points intermédiaires et aux extrémités.
2. La distance maximale entre les pylônes est de 50 mètres.
3. Tout l'acier structurel doit être de qualité S275 et galvanisé.
4. Le pylône doit rester au-dessus du niveau de l'eau en permanence.

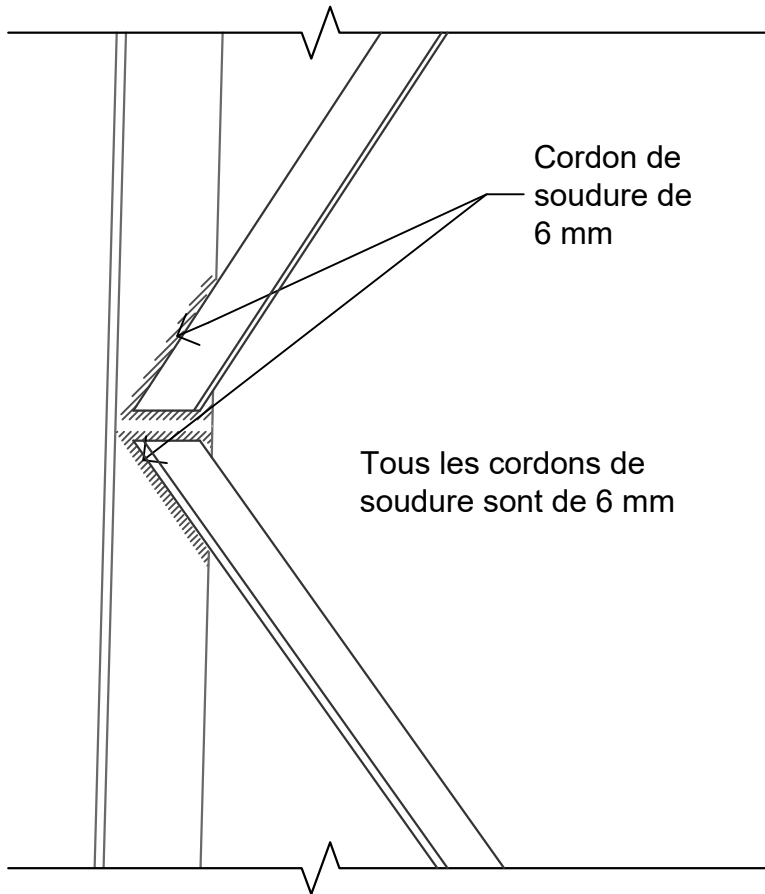
ELEVATION



COUPE 5-5

Sur la base du rapport de conception:
"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système de protection des puits dans les oueds (P2W), 2022"

| | | | | |
|-------------------------------|--|--|---|---|
| Numéro : A-04.8 | Titre : SYSTEME DE PROTECTION DES PUITES DANS LES OUEDS Détails du pylône | Dessinateur : Sheilla C. A Contrôleur : Arnalich S. | Echelle : 1/75 Date : 28/09/23 |  UNHCR The UN Refugee Agency |
|-------------------------------|--|--|---|---|



DETAIL "A"

Sur la base du rapport de conception:
"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
de protection des puits dans les oueds (P2W),
2022"

Numéro :

A-04.9

Titre :

SYSTEME DE PROTECTION
DES PUIITS DANS LES OUEDS

Schéma de raccordement par soudure

Dessinateur :

Sheilla C. A

Contrôleur :

Arnalich S.

Echelle :

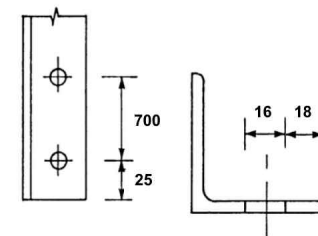
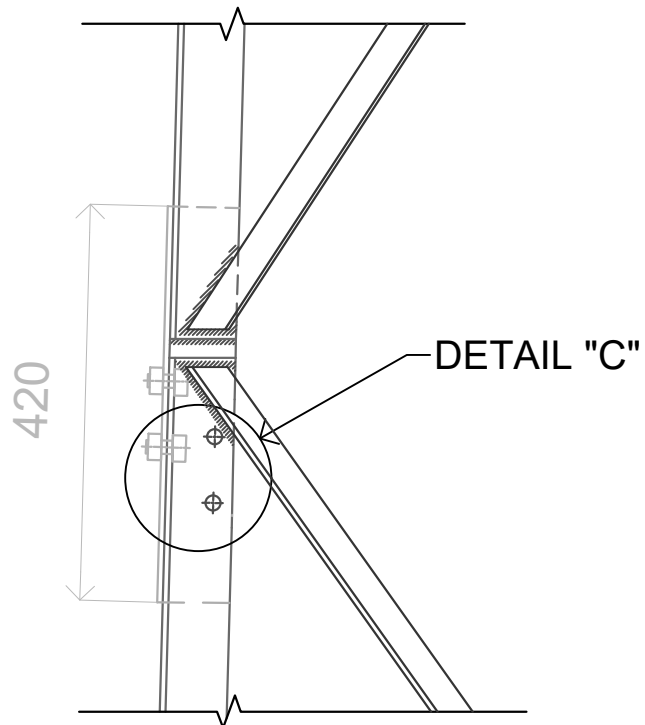
1/5

Date :

28/09/23



UNHCR
The UN Refugee Agency



DETAIL "B"

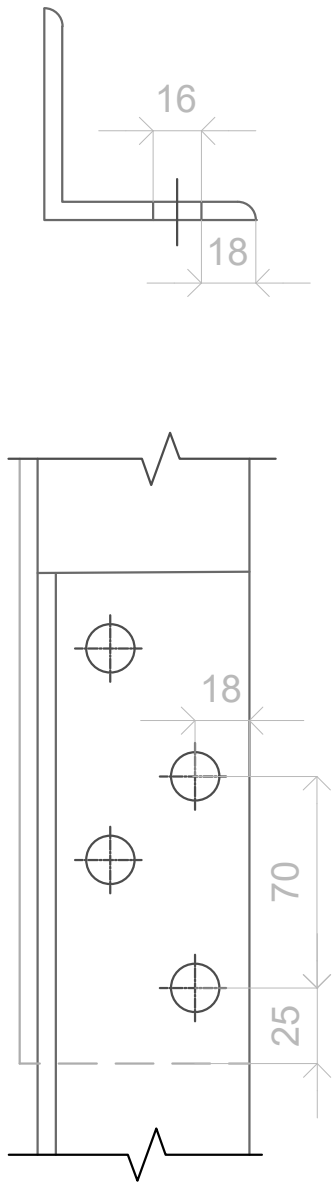
Sur la base du rapport de conception:
*"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
 de protection des puits dans les oueds (P2W),
 2022"*

Numéro :
A-04.10

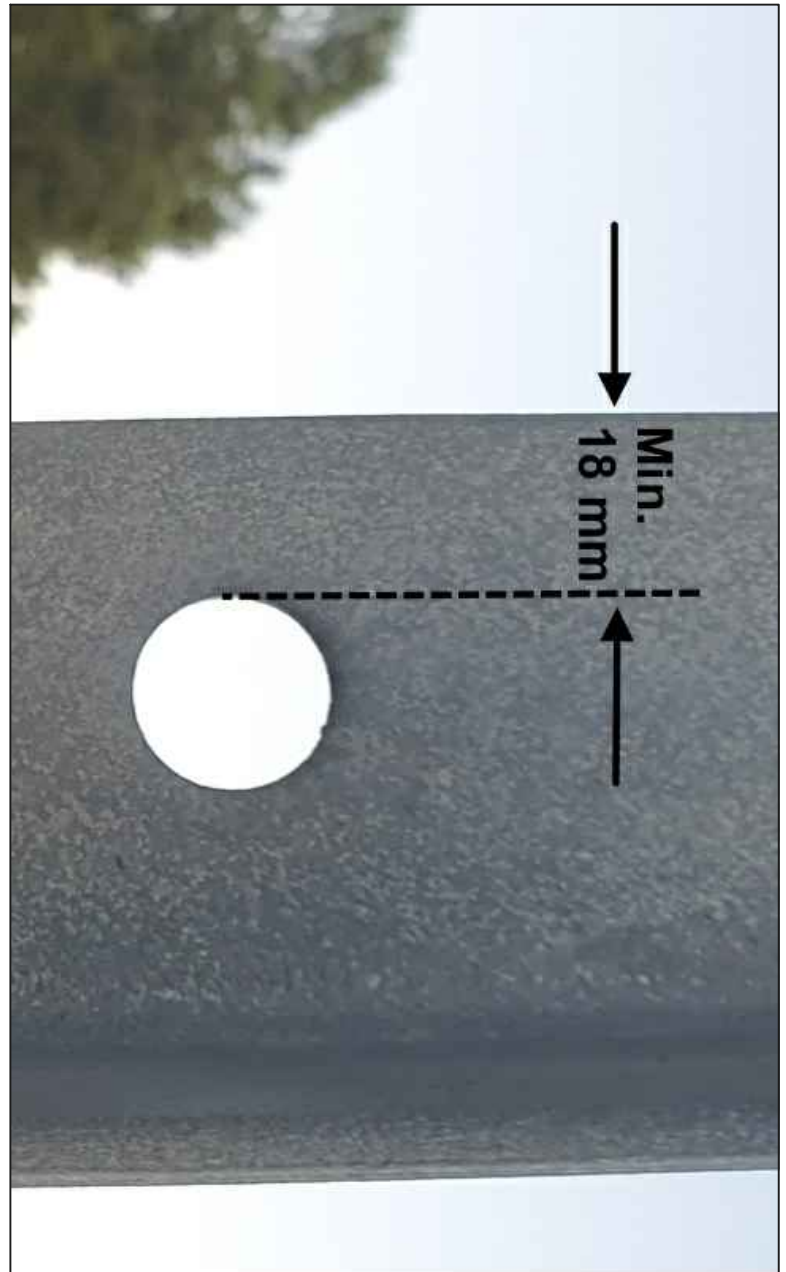
Titre :
**SYSTEME DE PROTECTION
 DES PUIITS DANS LES OUEDS**
 Schémas de raccordement à
 l'extrémité de la travée du pylône

Dessinateur :
 Sheilla C. A
 Contrôleur :
 Arnalich S.

Echelle
 1/8
 Date :
 28/09/23




Utiliser des boulons M14 de classe 5.8 ou supérieure dans des trous de 16 mm de diamètre.

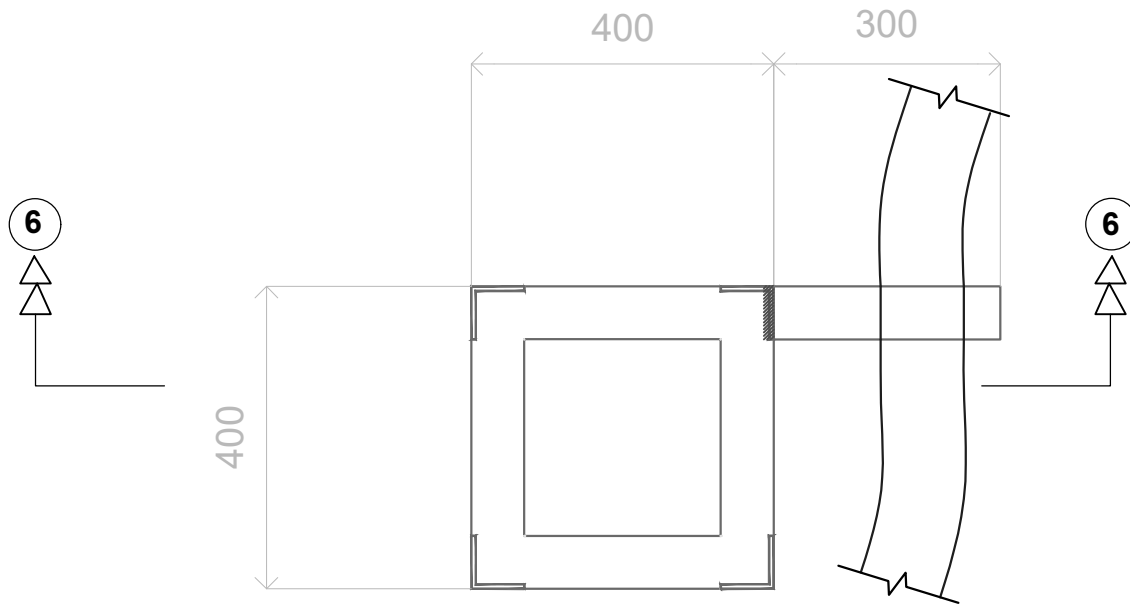


DETAIL "C"

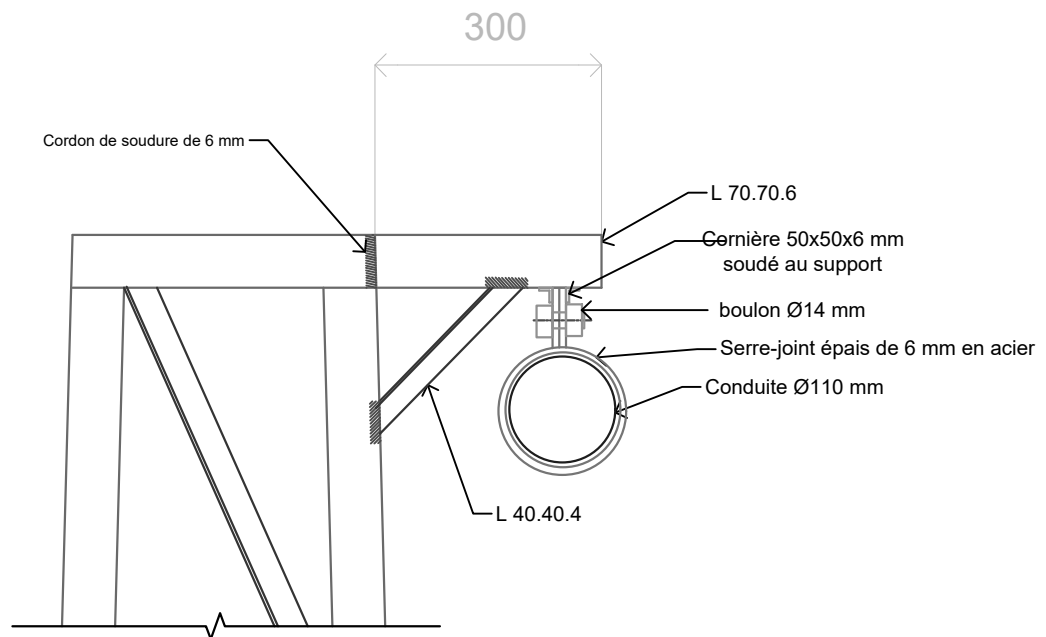
Sur la base du rapport de conception:

"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système de protection des puits dans les oueds (P2W), 2022"

| | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|---|
| <p>Numéro :</p> <p>A-04.11</p> | <p>Titre :</p> <p>SYSTEME DE PROTECTION DES PUIITS DANS LES OUEDS</p> <p>Schéma de raccordement par boulon</p> | <p>Dessinateur :</p> <p>Sheilla C. A</p> <p>Contrôleur :</p> <p>Arnalich S.</p> | <p>Echelle :</p> <p>1/2,5</p> <p>date :</p> <p>28/09/23</p> |  <p>UNHCR The UN Refugee Agency</p> |
|---------------------------------------|---|---|---|---|




PLAN



COUPE 6-6

Sur la base du rapport de conception:
*"PROPOSITION DE CONCEPTION, Système
 de protection des puits dans les oueds (P2W),
 2022"*

| | | | | |
|----------------------------|---|--|---|---|
| Numéro : A-04.12 | Titre : SYSTEME DE PROTECTION DES PUIITS DANS LES OUEDS Schéma de raccordement de conduites | Dessinateur : Sheilla C. A Controleur : Arnalich S. | Echelle : 1/10 Date : 28/09/23 |  UNHCR The UN Refugee Agency |
|----------------------------|---|--|---|---|

ANNEXE 6 : Détail Quantitatif et Estimatif

CADRE DE DEVIS ESTIMATIF QUANTITATIF

SYSTEME DE PROTECTION DES Puits DANS LES OUEDS – PYLONE DANS L'OUED

| N° | DESIGNATION | UNITE | QUANTITE | PRIX UNITAIRE | PRIX TOTAL |
|----------|--|----------------|----------|---------------|------------|
| 1 | TRAVAUX PRELIMINAIRES | | | | |
| 1.1 | Mobilisation de l'équipement, de la main-d'œuvre et des matériaux | forfait | 1 | | |
| 2 | TRAVAUX SUR SITE | | | | |
| | Nettoyage du site | | | | |
| 2.1 | Déblaiement du site, y compris le retrait des 150 premiers millimètres de sol pour éliminer les débris, transport vers la décharge et nivellement | m ² | 21,00 | | |
| | Fouilles | | | | |
| | Les quantités sont mesurées sans prendre en compte l'espace de travail. L'entrepreneur doit inclure dans ses tarifs l'espace de travail nécessaire. | | | | |
| 2.2 | Les fouilles pour les fondations commencent à un niveau réduit et n'excèdent pas la profondeur de 1,5 mètres. | m ³ | 31,50 | | |
| 2.3 | Remblai autour de la fondation en déposant et compactant par couche de 15 cm | m ³ | 7,20 | | |
| 2.4 | Retrait du surplus de matériau issu des fouilles | m ³ | 24,30 | | |
| | Poussée des terres | | | | |
| 2.5 | Mettre des supports sur les parois des fouilles | forfait | 1 | | |
| | Evacuation de l'eau | | | | |
| 2.6 | Maintenir les fouilles hors d'eau | forfait | 1 | | |
| 3 | TRAVAUX DE BETONNAGE | | | | |

| | | | | | |
|----------|--|----------------|---------|--|--|
| 3.1 | Béton de propreté de 10 cm appliqué à la base de la fondation | m ³ | 1,65 | | |
| 3.2 | 1 m de béton à gros granulats pour la partie hexagonale de la fondation (enterrée sous le sol) | m ³ | 16,50 | | |
| 3.3 | Forme ovale (voile) en béton standard H-25, couverte sur toute la profondeur de l'eau (profondeur à déterminer sur place - minimum 2m de hauteur au-dessus de la ligne d'eau en tout temps). | m ³ | | | |
| 4 | COFFRAGE | | | | |
| 4.1 | Côtés de la partie hexagonale de la fondation | m ² | 16,49 | | |
| 4.2 | Côtés de la forme ovale (voile) : profondeur à déterminer sur place | m ² | | | |
| 5 | TOUR EN TREUILLIS / PYLONE Tour en acier galvanisé S275 de 7500 x 800 mm, boulonnée et soudée sur site Les quantités ci-dessous sont données à titre indicatif, et le tarif de l'entrepreneur doit inclure les raccords, les fixations et tout autre élément qui pourrait ne pas être inclus dans le métré. | | | | |
| 5.1 | Profilé L70.6 pour les colonnes de la tour | kg | 1234,75 | | |
| 5.2 | Profilé L40.4 pour les haubans de la tour | kg | 446,68 | | |
| 5.3 | Boulons Boulons M14 de qualité 5.8 ou supérieure sur un trou de diamètre 16 mm avec écrous et rondelles | forfait | 16 | | |
| 5.4 | Raccords et fixation Prévoir des étriers, des pinces en acier de 6 mm, des raidisseurs, des entretoises, des plaques de connexion conformément aux dessins de l'ingénieur | forfait | 1 | | |
| 6 | CABLES ET CONDUITE | | | | |
| 6.1 | Câble en acier $\phi 10$: 0,40 kg/m | forfait | 1 | | |
| 6.2 | Câble du moteur électrique (4x50 mm ²) : 3,02 kg/m | forfait | 1 | | |
| 6.3 | Conduite PEHD DN110 PN10 : 2,27 kg/m | forfait | 1 | | |