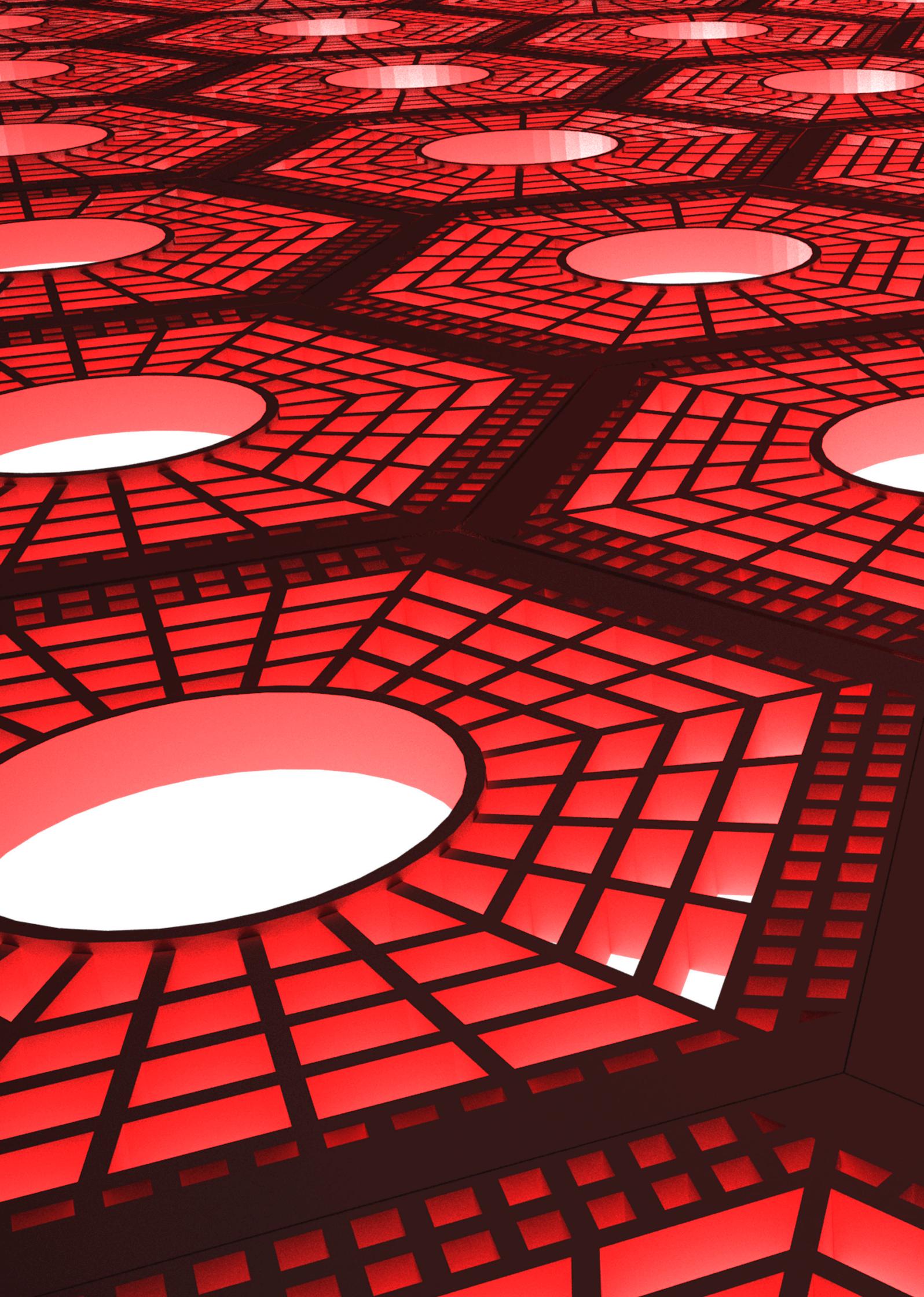


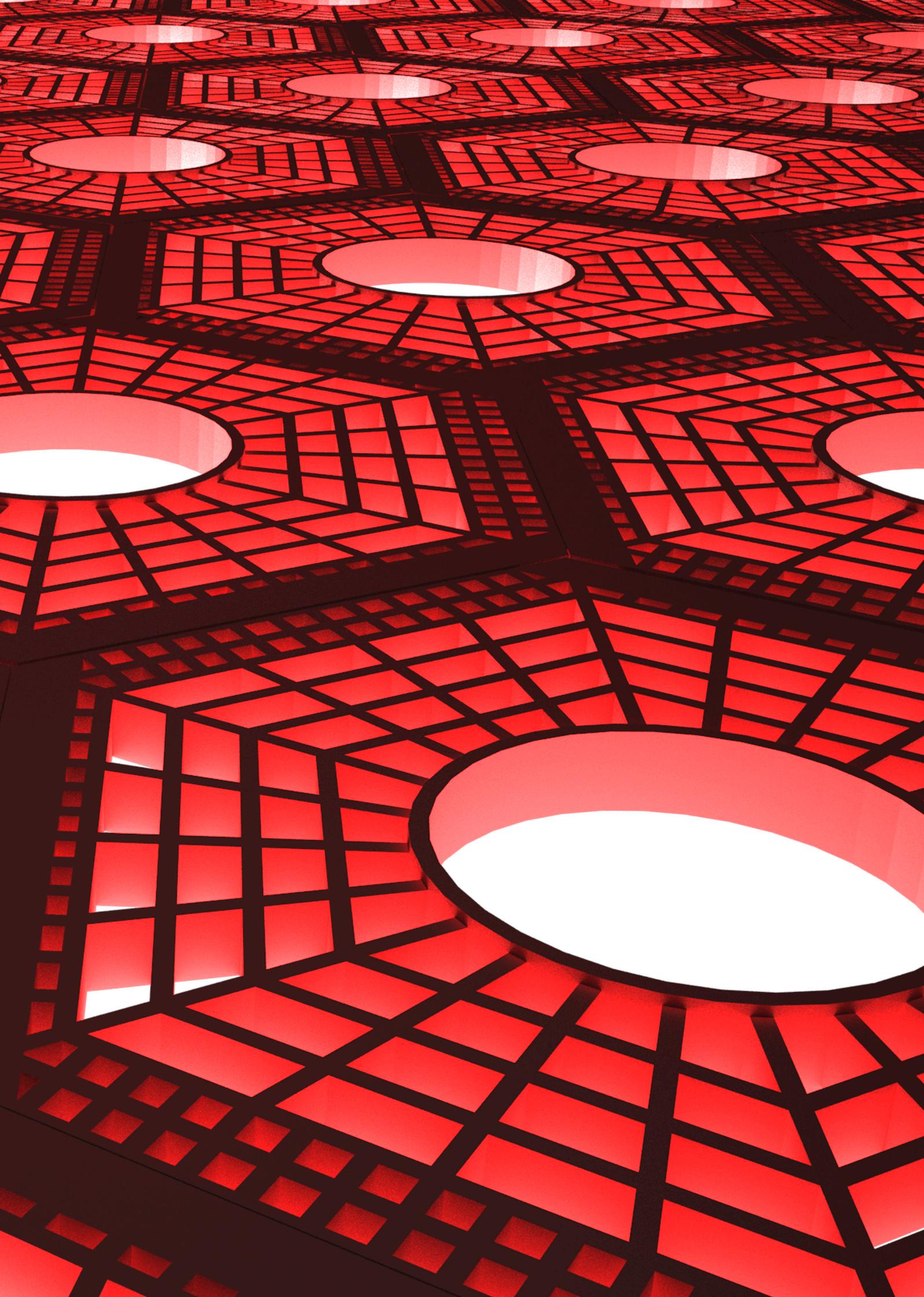
S.P.D.

GUIDE TECHNOLOGIQUE D'APPLICATION

**STRUCTURES ET PAVÉS
DISCONTINU**

1^{ère} ÉDITION · ANNÉE 2013







Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía IDEA
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN Y CIENCIA



PROJET DE STRUCTURES ET PAVÉS DISCONTINUS

Guide technologique d'application



ÉQUIPES DE TRAVAIL:

ACTISA: Salvador Mansilla Vera (Auteur-Rédacteur), María José Sánchez Ibáñez (Administration et Gestion du Projet), Salvador Toril Díaz (Graphiste), Tomás Quesada Jiménez (Testeur), Belén Jiménez Morales (Traductrice), Nataly García Coello (Programmeuse Logiciel).

CONSTRUCCIONES OTERO S.L.: Enrique Otero Benet, (Conseiller Construction), Francisco Ábalos Medina, (Conseiller Viabilité), Carmen Otero Benet, (Conseiller Architecture), Alejandro Alguacil Sánchez, (Conseiller et Responsable de Sécurité et Santé), Antonio Ruiz Otero, Miguel Muñoz León, José Gutiérrez Medina, Antonio Ramos Linares, (Construction du Prototype Pavés), Francisco Haro Castro, Horacio Sánchez Castro, (Construction du Prototype Hourdis et Murs de Caissons).

Organismes partenaires:

DISELC: José Martínez Ortiz, (Dessin électronique)

UNIVERSIDAD DE GRANADA: Caroline Catta, Olga Hernando, (Traductrice Guides), Javier Luna Molina, (Testeur), Guillermo Rus Calborg, (Direction Conseil).

INFORMATION DE CONTACT:

ACTISA S.L. (Actividades de Consultoría Técnica, Investigación y Servicios Avanzados S.L.).

C/Manuel Roldán Prieto, 3, 2º F. 18140 La Zubia, (Granada).

Téléphone et fax: +34.958.38.92.74

Site web : www.actisa.net

Courrier électronique : actisa@actisa.net

Inscription de la propriété intellectuelle. Enregistrement: GR-346-13

© TOUS DROITS RÉSERVÉS

DÉDICACES

Dédié à ma mère, Remedio Vera Artacho, qui est récemment décédée, pour nous inculquer l'esprit de combat et de dépassement.

PRÉSENTATION

Avec la Guide Technologique d'Application de Structures et Pavés Discontinus on finit le projet de recherche du même nom. Ils ont été vingt-quatre mois très intenses qui terminent avec une très grande satisfaction pour tous les participants du projet puisqu'on a défini des solutions qui ont généré un énorme intérêt et ont ouvert un nouveau panorama dans le monde de la structure et du pavé.

Le développement du projet a cherché toujours l'efficacité maximale dans la construction de structures et pavés, en simplifiant le processus de construction au même temps qu'on garantit **le bon fonctionnement structural**. La viabilité des solutions a été aussi un objectif essentiel pour les innovations et inventions développées, atteignant donc **produits d'un grand intérêt commercial avec des prix notamment compétitifs**. De la même façon, chercher les **avantages du comportement structural** permet ces solutions de se faire concurrence aux produits traditionnels du marché de la construction, en offrant **avantages compétitifs**.

Cette guide fournit les prescriptions d'application des différents produits développés et décrit les méthodes suivies pour les calculer et justifier.

La Guide est complétée par un logiciel incluant quatre programmes informatiques (« DPD, Dessin de Pavés Démontables », « CBS, Calcul de Dalle Solaire », « DFD, Discrétisation d'Hourdis Discontinus », « CMCR, Calcul de Murs de Caissons Réutilisables »), qui facilitent le calcul et dessin des constructions employant nos produits.

Nous souhaitons que cette Guide suscite un grand intérêt entre les usagers de façon qu'ils sentent que l'application de Structures et Pavés Discontinus à leurs projets et constructions civiles ainsi que architectoniques est facile.

Salvador Mansilla Vera et équipe.



INDEX.

CHAP 0 · VERS UN NOUVEAU PANORAMA DANS LE MONDE DE LA STRUCTURE ET DU PAVÉ

CHAP 1 · PAVÉ DÉMONTABLE

- PARTIE 1 · PRÉSENTATION GÉNÉRALE
- PARTIE 2 · GÉOMÉTRIES ET FORMATS
- PARTIE 3 · MATÉRIAUX
- PARTIE 4 · CONTRÔLE DE QUALITÉ
- PARTIE 5 · EXÉCUTION ET DÉMONTAGE
- PARTIE 6 · SOLUTIONS URBAINES
- PARTIE 7 · DIMENSIONNEMENT DE PAVÉS DÉMONTABLES

CHAP 2 · LA DALLE SOLAIRE

- PARTIE 1 · PRÉSENTATION GÉNÉRALE
- PARTIE 2 · GÉOMÉTRIES ET FORMATS
- PARTIE 3 · MATÉRIAUX
- PARTIE 4 · CONTRÔLE DE QUALITÉ
- PARTIE 5 · CONSTRUCTION, MONTAGE, DÉMONTAGE ET MAINTENANCE
- PARTIE 6 · SOLUTIONS URBAINES
- PARTIE 7 · LES PAVÉS INTELLIGENTES
- PARTIE 8 · CALCUL DE RENDEMENTS

CHAP 3 · LES HOURDIS SANS ÉCHAFAUDAGE

- PARTIE 1 · PRÉSENTATION GÉNÉRALE
- PARTIE 2 · GÉOMÉTRIES ET FORMATS
- PARTIE 3 · MATÉRIAUX
- PARTIE 4 · CONTRÔLE DE QUALITÉ
- PARTIE 5 · SOLUTIONS ARCHITECTONIQUES ET STRUCTURELLES
- PARTIE 6 · CONSTRUCTION ET MONTAGE
- PARTIE 7 · CALCUL STRUCTUREL

CHAP 4 · MURS DE CAISSONS RÉUTILISABLES

- PARTIE 1 · PRÉSENTATION GÉNÉRALE
- PARTIE 2 · GÉOMÉTRIES ET FORMATS
- PARTIE 3 · MATÉRIAUX
- PARTIE 4 · CONTRÔLE DE QUALITÉ
- PARTIE 5 · SOLUTIONS CONSTRUCTIVES
- PARTIE 6 · PROCESSUS CONSTRUCTIF
- PARTIE 7 · CALCUL STRUCTUREL

INDEX DES IMAGES

- Image 1.** Pavé démontable préfabriqué avec deux formats.
- Image 2.** Éléments du pavé démontable préfabriqué.
- Image 3.** Pavé démontable in situ.
- Image 4.** Détail de jointure du pavé démontable in situ rectangulaire.
- Image 5.** Géométrie du pavé démontable préfabriqué de 33,3 x 33,3 cm.
- Image 6.** Géométrie du pavé démontable hexagonal de 20 cm de côté.
- Image 7.** Géométrie du pavé démontable in situ rectangulaire de 40 cm de côté.
- Image 8.** Géométrie du pavé démontable in situ hexagonal de 20 cm de côté.
- Image 9.** Palette de pièces préfabriquées.
- Image 10.** Palette de jointures d'injection.
- Image 11.** Différentes étapes d'exécution du pavé préfabriqué démontable.
- Image 12.** Différentes étapes d'exécution du pavé in situ démontable.
- Image 13.** Détail de superposition de la jointure intermédiaire.
- Image 14.** Emploi de deux formats de pavé in situ.
- Image 15.** Détail de solutions monoformat et monochrome.
- Image 16.** Détail de solutions monoformat et bicouleur.
- Image 17.** Détail de solutions monoformat et multicolore.
- Image 18.** Détail de solution multiformat et monochrome.
- Image 19.** Détail de solution biformat et bicouleur.
- Image 20.** Détail de solutions avec divers formats et couleurs.
- Image 21.** Détail de solution avec finition en pierre.
- Image 22.** Détail de solution avec finition en différentes typologies de pierre.
- Image 23.** Détail d'incorporation de la dalle solaire au pavé.
- Image 24.** Géométrie de la dalle solaire BS-PFV-SQ400.
- Image 25.** Géométrie de la dalle solaire BS-PFV-C160.
- Image 26.** Géométrie de la dalle solaire BS-DS-C160.
- Image 27.** Géométrie de la dalle solaire BS-DST-C160.
- Image 28.** Géométrie de la dalle solaire BS-S-C160.
- Image 29.** Vue d'ensemble de 2x8 dalles.
- Image 30.** Groupe de dalles arrangées sur trottoir.
- Image 31.** Installation de dalles solaires.
- Image 32.** Distance recommandée jusqu'à bord de trottoir.
- Image 33.** Zone non recommandée en route.
- Image 34.** Emplacement de dalles solaires dans rues orientées est-ouest.

- Image 35.** Exemple d'applicabilité d'équipements PIPER.
- Image 36.** Valeurs moyennes de l'irradiance solaire dans le monde.
- Image 37.** Critère de projection d'ombres par les édifices sur une voie.
- Image 38.** Exemple de voie sans radiation du trottoir sud.
- Image 39.** Conditions d'éclairage du trottoir ouest avec $A_{rue} > A_{coucher}$ pour une voie de largeur infinie.
- Image 40.** Conditions d'éclairage du trottoir ouest avec $A_{rue} < A_{coucher}$ pour une voie de largeur infinie.
- Image 41.** Détail d'hourdis sans échafaudage.
- Image 42.** Détail d'hourdis sans échafaudage de 30 cm de bord.
- Image 43.** Détail d'hourdis sans échafaudage de 35 cm de bord.
- Image 44.** Caisson de béton pour exécuter plafond plate. À incorporer dans l'étape de préfabrication.
- Image 45.** Détail de caissons de béton et PSE.
- Image 46.** Détail de prédalle.
- Image 47.** Sections Hourdis de 30 et 35 cm sans caissons.
- Image 48.** Sections Hourdis de 30 et 35 cm avec caissons.
- Image 49.** Sections Hourdis avec prédalles incorporées.
- Image 50.** Sections Hourdis de 30 et 35 cm avec dalle de compression exécutée pendant préfabrication.
- Image 51.** Exécution d'unions avec piliers plus larges que les poutres.
- Image 52.** Emplacement de panneaux préfabriqués.
- Image 53.** Placement de prédalles, coffrage, remplissage de béton et décoffrage final.
- Image 54.** Répartition de charges dans la dalle équivalente.
- Image 55.** Murs de caissons réutilisables.
- Image 56.** Contact entre caissons.
- Image 57.** Stabilité caisson à caisson, sans basculement intermédiaire ou dans la base. Les modules sont décalés.
- Image 58.** Caissons de béton 2x2 m et décalages possibles entre eux.
- Image 59.** Chevauchement de modules pour constituer les murs dans des zones de remplissage ou terre-plein.
- Image 60.** Protection de talus de déblai avec des murs de caissons réutilisables.
- Image 61.** Haubanage intermédiaire pour optimiser les murs.
- Image 62.** Emploi de plateaux intermédiaires pour améliorer la stabilité.
- Image 63.** Solutions constructives pour finitions de la face antérieure.
- Image 64.** Glissement du talus à côté de la route.
- Image 65.** Retrait du matériel glissé et remplissage avec béton en masse sur la base du mur. (Il peut se faire aussi avec des banches quand la stabilité ne soit pas garantie).
- Image 66.** Emplacement de la première rangée de murs.
- Image 67.** Remplissage de la première rangée de murs.
- Image 68.** Emplacement de la deuxième rangée de murs.
- Image 69.** Remplissage de la deuxième rangée de murs.

Image 70. Emplacement de la troisième avec décalage par rapport à la deuxième rangée.

Image 71. Remplissage de la troisième rangée de murs caissons.

Image 72. Emplacement de la quatrième rangée de murs.

Image 73. Remplissage de la quatrième rangée.

Image 74. Emplacement et remplissage de la dernière rangée avec décalage, (hauteur totale 10 m).

Image 75. Le décalage permet de recentrer la force verticale sur le caisson inférieur.

Image 76. Décollage entre modules de la partie postérieure.

Image 77. Mécanisme de contact de caissons 2x2 quand il y a décollage.

Image 78. Situation 1 de contacts.

Image 79. Situation 2 de contacts.

Image 80. Situation 3 de contacts.

Image 81. Différentes situations de contacts dans un même mur.

Image 82. Mécanisme de contact de caissons 2x2 quand il y a décollage et décalage.

Image 83. Mécanisme de poussée dans une situation dynamique.

Image 84. Tensions maximaux principaux pour un déblai avec situation sismique de 10 m de hauteur.

Image 85. Tranchant maximal pour une hauteur de 10 m et situation sismique.

INDEX DES TABLES

Table 1-1. Propriétés ABS.

Table 1-2. Granulométrie des couches de base.

Table 1-3. Caractère glissant des pavés.

Table 1-4. Caractère glissant des pavés démontables.

Table 1-5. Emploi des matériaux en noyau et couches de sécurité.

Table 1-6. Paramètres élastiques de matériaux d'emploi en terrains de fondation.

Table 1-7. Paramètres élastiques dans le sol sélectionné.

Table 1-8. Catégories de circulation.

Table 1-9. Nombre maximal d'applications de charges selon terrain de fondation et couches granulaires pour solutions préfabriquées (hexagonal de 20 cm de côté et rectangulaire de 33,3 x 33,3 cm).

Table 1-10. Nombre maximal d'applications de charges selon terrain de fondation et couches granulaires pour solutions in situ (hexagonal de 15 cm de côté)

Table 1-11. Nombre maximal d'applications de charges selon terrain de fondation et couches granulaires pour solutions in situ (rectangulaire de 40 cm de côté).

Table 1-12. Solutions de terrain de fondation selon TNS.

Table 2-1. Valeurs de r_0 , r_1 et r_k selon climat.

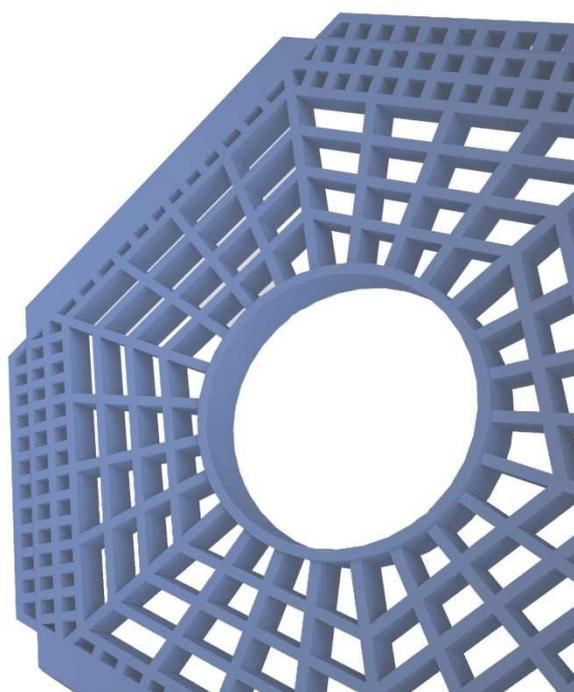
Table 2-2. Coefficients de Pérez.

Table 2-3. Valeurs d'opération d'un producteur photovoltaïque.

Table 3-1. Géométrie de la dalle équivalente, poutres et poutrelles intérieures.

Table 4-1. Décalage des différentes combinaisons de caissons.

CHAP 0. VERS UN NOUVEAU PANORAMA DANS LE MONDE DE LA
STRUCTURE ET DU PAVÉ



STRUCTURES ET PAVÉS DISCONTINUS

Guide

CHAP 0. HACIA VERS UN NOUVEAU PANORAMA DANS LE MONDE DE LA STRUCTURE ET DU PAVÉ

Pour les principaux acteurs et promoteurs, certains des objectifs sont de construire d'une manière plus simple et meilleure, et créer des structures et des pavés qui durent plus longtemps.

L'utilisation de nouveaux matériaux dans un contexte économiquement viable, joint avec les matériaux traditionnels permettent un ample cadre de possibilités pour améliorer les solutions existantes.

Le pavé peut être démonté et remplacé, en plus de créer de l'énergie, les dalles améliorent la performance structurelle et sans échafaudage, les murs construits en très peu de temps et capable d'être stable supportent des grandes avancées de terre, par exemple, le résultat du projet de recherche appelée "Pavé discontinu et structure". Ce guide facilite une série de produits avec une orientation commerciale pour améliorer le secteur des chaussées et des structures.

Ce guide se divise en quatre parties:

- Pavés démontables
- Dalle solaire
- Hourdis sans échafaudage.
- Murs de caissons réutilisables.

Chaque partie proportionne l'information nécessaire à l'utilisateur pour appliquer chaque produit dans les travaux correspondants ; dans ce guide donne les caractéristiques et informations techniques, recommandations, l'instruction et la méthodologie de construction pour l'utilisation de ces produits.

On espère que ce guide soit une référence dans le monde de la construction et qu'elle offre de nouvelles possibilités et solutions facilitant tout le processus et améliorant les résultats.

Ce guide à la version 1.0 n'est pas terminé et prétend être un début à la création de nouvelles solutions et de nouveaux formats à utiliser dans le secteur des pavés et structures.

Actuellement, on travaille sur le concept de pavé intelligent, "le pavé intelligent de réseau pervasif et réalité améliorée- PIPER", devrait permettre de grandes possibilités et applications pour les citoyens, spécialement centrées sur le marketing pratique, la mobilité et la création de réseau social.

D'un autre côté, on promeut le développement de nouvelles recherches dans le secteur des structures discontinues, en particulier la solution de préfabriqués qui facilitent la construction de certains éléments tels que les murs, les colonnes, les connections, etc.

On travail en étudiant l'utilisation de nouveaux matériaux et de nouvelles solutions de bétons dans un contexte économiquement viable.

Toutes ces actions permettent de croire dans un monde futur où les pavés discontinus et les structures seront à la tête de l'innovation dans le secteur de la construction.

CHAP 1. PAVÉ DÉMONTABLE



CHAP 1. PAVÉ DÉMONTABLE

PARTIE 1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE

1a. Pourquoi utiliser les pavés démontables ?

Dans un milieu urbain, on voit normalement comment les nouveaux pavés avec une vie utile et courte ont été démolis. Les principales raisons sont les nouveaux services urbains, les réparations et peut être les capacités structurelles inadéquates du pavé.

Dans certains pays, il a des études qui indiquent que plus de 40% des pavés urbain est démolit avant que termine son espérance de vie prévue. Cela implique chaque année des milliers d'euros ou dollars pour la démolition et la reconstruction.

Dans certains lieux urbains comme les centres ville, ou centres commerciaux par exemple, parfois il doit être démolit des pavés de luxe, avec un investissement initial de plus de 60 euros par mètre carré.

Par conséquent, une solution qui permet le démontage et le remplacement du pavé devrait réduire les coûts d'exploitation dans le milieu urbain.

Par ailleurs, le pavage utilisant des pavés s'est révélé être une mauvaise solution à utiliser pour le transport de poids lourd. Il est donc nécessaire d'améliorer le comportement structurel pour permettre de plus grands poids.

1b. Principales caractéristiques

Les principales caractéristiques du pave détachable qui font que cette solution est compétitive dans un milieu urbain, sont les suivantes:

- C'est valable pour tous les niveaux de concentration de grands poids.
- Esthétique générale, faisant possible l'utilisation de nombreuses solutions superficielles telles que les pierres, coulis ou des silices de couleurs dans les solutions préfabriquées.
- Longue vie utile.
- Solutions préfabriquées ou des solutions in-situ sont considérées.
- Chaque format peut être démonté et ensuite replacé.
- Prix compétitif.
- La solution permet l'insertion de dalles solaires et d'autres dispositifs.
- La solution rend possible le concept de Pavé Intelligent (Projet PIPER) et facilite les activités de contrôle de la circulation et des applications de mobilité.
- Construction facile, sans équipement spécialisé ou machinerie.
- Contrôle de qualité pour la solution préfabriquée avant la construction.
- Il peut se construire n'importe où.
- Moins consommation électrique qu'autres solutions.
- Ouverture immédiate à la circulation pour solutions préfabriquées.
- Bon comportement face à une attaque chimique.
- Il n'est pas nécessaires des travaux de restauration
- Drainage amélioré.

1c. Avantages sur le pavé flexible ou le pavage d'asphalte

- Longue vie utile.
- La réhabilitation n'est pas nécessaire.
- Une meilleure distribution de la charge dans les couches granulaires et une moindre déformation dans les sous-structures comparées avec les solutions d'asphalte à l'épaisseur moyenne en milieu urbain.
- Aucune démolition n'est nécessaire quand il s'effectue des réparations.
- Réduction des émissions de CO2.
- Moins consommations d'énergie
- Drainage amélioré.
- Il n'est pas nécessaire des équipements ou machinerie spécialisées.
- Meilleur comportement face à une attaque chimique.
- La température et la pluie ne conditionne pas la construction du pavé.
- Meilleure esthétique.

1c. Avantages sur le pavé rigide ou le pavé en béton

- Moins épaisseur.
Pas de besoin d'acier.
- Pas besoin de machinerie spécialisée.
- Aucune démolition n'est nécessaire quand il s'effectue des réparations.
- Ouverture immédiate à la circulation.



Image 1. Pavé démontable préfabriqué avec deux formats.

PARTIE 2. GÉOMÉTRIES ET FORMATS

En fonction de la solution de construction, on a deux groupes:

- Pavés préfabriqués.
- Pavés In situ.

2a. Pavés préfabriqués

We are trading three formats: hexagonal 20 cm side; and square 33.3 cm side and 40 cm side.

De nos jours, on commercialise trois formats : l'hexagonal avec 20cm de côté, carré avec 33, 3 cm de côté ou de 40 cm de côté.

Ce pavé est composé de trois pièces. La première de ces pièces, dans une position inférieure en contact avec le sol. La seconde, une pièce supérieure qui apporte l'esthétique au pavé, avec une couche supérieure qui inclut silice et pigments (rouge, jaune, vert, gris, etc.). Finalement, la dernière pièce est placée entre la couche inférieure et supérieure, qui est une technique d'assemblage à rainures et languettes composée de plastique technique comme l'ABS ou de polyamide renforcé avec fibre de verre. L'ABS recyclé est recommandé. Cet assemblage permet la connexion entre les pièces et la distribution de la charge et les pavés qui entourent la pièce sur laquelle repose le poids. L'épaisseur des pavés inférieurs et supérieurs est de 7 cm chacun et l'épaisseur de la pièce intermédiaire avec l'assemblage est de 1,8 cm, ce pourquoi l'épaisseur totale de ce pavé est de 15,8 cm.

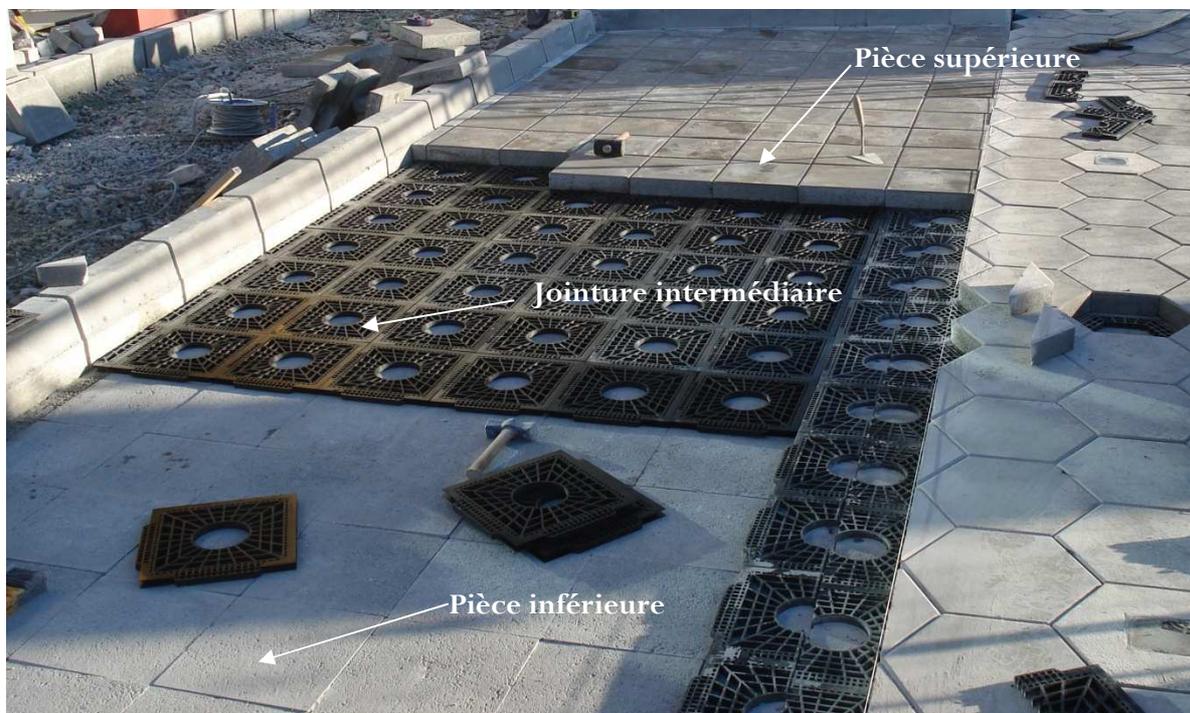


Image 2. Éléments du pavé démontable préfabriqué.

2b. Pavés In situ

Dans ce cas, la solution est faite au même endroit où ils vont être utilisés. Cela permet un produit plus économique, bien qu'il soit nécessaire au moins 4 jours pour assurer que le béton se sèche. Dans ce cas on utilise des moules faits d'ABS recyclé. Ces moules sont remplis avec béton et la partie supérieure du moule est détachable pour faire la forme de l'assemblage superficiel. Ces moules ont une forme d'assemblage à rainures et languettes qui permet la connexion entre les pièces et la distribution du poids.

De nos jours, on vend quatre formats : hexagonal de 15 cm et hexagonal de 20 cm de côté, pavés carrés fin situ de 40 cm et de 33.3 cm. Pour l'hexagonal de 15 cm, la géométrie est différente des trois autres formats puisque l'assemblage à rainures et languettes est faite de béton, tandis que pour les autres l'assemblage à rainures et languettes est faite de plastique. La forme hexagonal de 15 cm de côté est appelée « hexatripède ».

Cette solution est idéale pour utiliser le pavé en pierre comme finition superficielle (granite, par exemple).

La hauteur de chaque moule est de 13,8 cm. Les moules pour faire l'assemblage superficiel de béton ajoutent 2 cm, en élevant la hauteur du moule à 15,8 cm. Ces moules ne sont pas employés quand on utilise de la pierre ou d'autres matériaux pour les finitions superficielles.

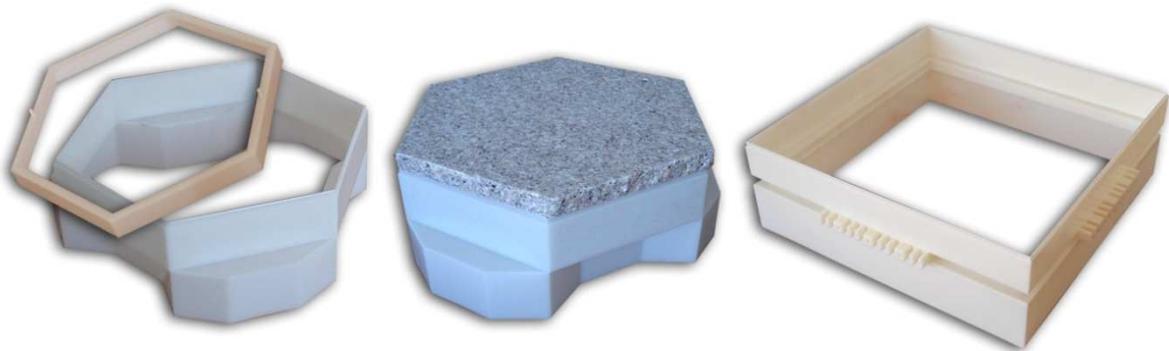


Image 3. Pavé démontable in situ.

2c. Démontage et remplacement

Pour les solutions préfabriquées le démontage est simple. Une machine extirpable de 20 kg est suffisante pour déplacer premièrement la pièce supérieure, ensuite l'assemblage à rainures et languettes et finalement le pavé inférieur. Le remplacement peut être fait manuellement de la même manière que lors de sa construction.

Pour les pavés in situ avec un assemblage à rainures et languettes en plastique, il est nécessaire de couper tout d'abord la connexion au moins en deux pièces. Une scie radiale est suffisante. Ensuite, une fois que ces deux pièces sont enlevées, toutes les autres pièces peuvent également être retirées. Enfin, quand la réparation est faite, on peut reconstruire le pavé en remettant à leur place toutes les pièces, sauf les deux premières, qui seront reconstruites avec de nouveaux moules et remplies de béton. Les deux pièces à l'assemblage à rainures et languettes coupées, peuvent être réparées grâce à un connecteur d'acier fixé dans le trou horizontal de l'assemblage à rainure et languettes et utilisé pour d'autres pavés. Le diamètre de ce trou est 6 mm.

Pour la réalisation in situ du « hexatripède », on utilise une machine extirpable pour enlever les pièces au moyen d'un déplacement vertical, (une machine extirpable d'au moins 100 kg est recommandée); des mesures de sécurité doivent être alors prises pour la réalisation de cette opération.

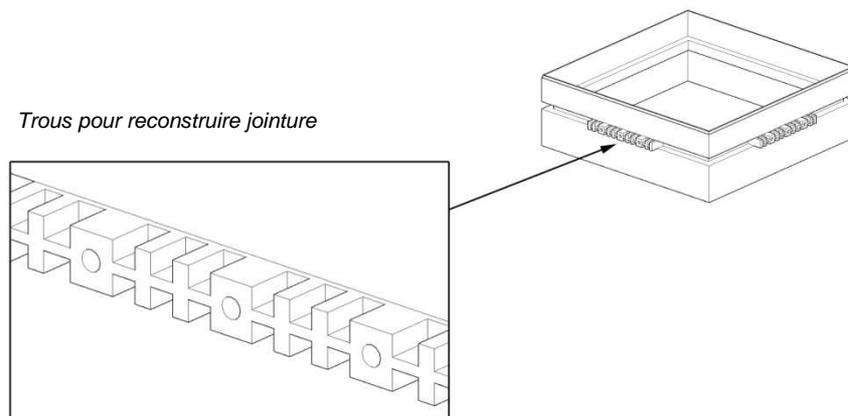
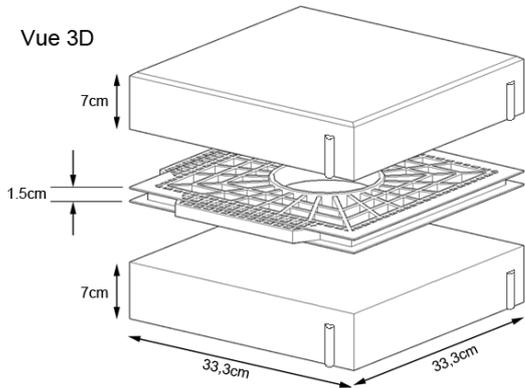


Image 4. Détail de jointure du pavé démontable in situ rectangulaire.

2d. FORMATS GÉOMÉTRIQUES

PDP-SQ333

CARRÉ 33,3 CM DE CÔTÉ PRÉFABRIQUÉ



PIÈCE SUPÉRIEURE:

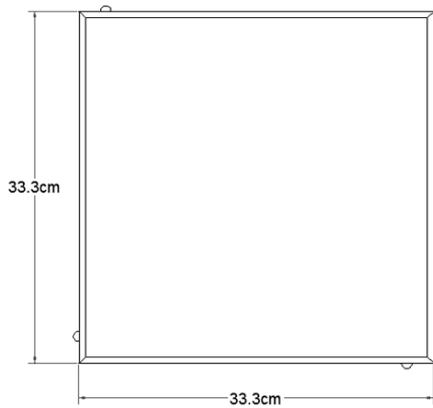
MATÉRIELS: (POUR DOSAGE, VOIR GUIDE)
 COUCHE SUPÉRIEURE: SILICE + COLORANT
 COUCHE INFÉRIEURE: RÉSISTANCE TRACTION-FLEXION 3,6 MPa

PIÈCE INTERMÉDIAIRE:

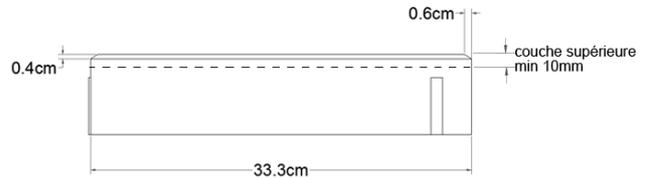
MATÉRIEL ABS (E 2100 MPa)

PIÈCE INFÉRIEURE:

MATÉRIELS: (POUR DOSAGE, VOIR GUIDE)
 RÉSISTANCE TRACTION-FLEXION: 3,6 MPa

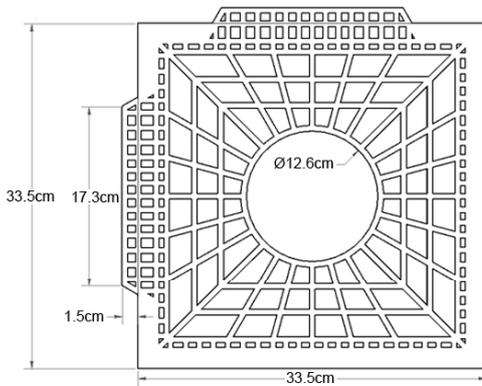


Pièce supérieure

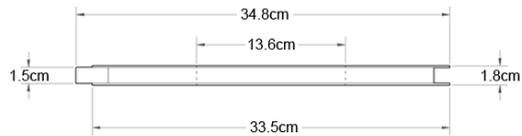


Sur plan

En élévation

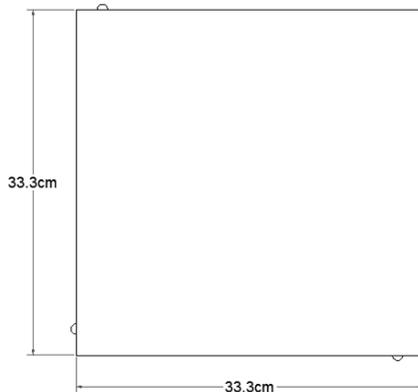


Pièce intermédiaire



Sur plan

En élévation



Pièce inférieure



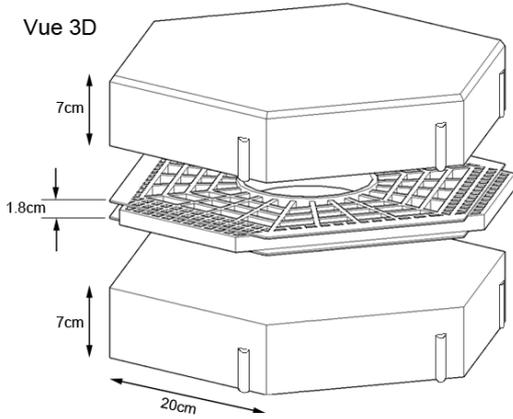
Sur plan

En élévation

Image 5. Geometry of prefabricated detachable pavement of 33.3 x 33.3 cm.

PDP-HEX200

HEXAGONAL 20 CM DE CÔTÉ PRÉFABRIQUÉ



PIÈCE SUPÉRIEURE:

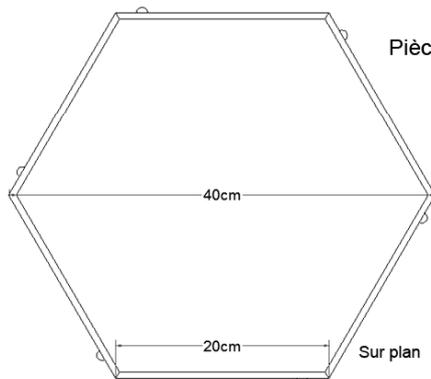
MATÉRIELS: (POUR DOSAGE, VOIR GUIDE)
 COUCHE SUPÉRIEURE: SILICE + COLORANT
 COUCHE INFÉRIEURE: RÉSISTANCE TRACTION-FLEXION 3,6 MPa

PIÈCE INTERMÉDIAIRE:

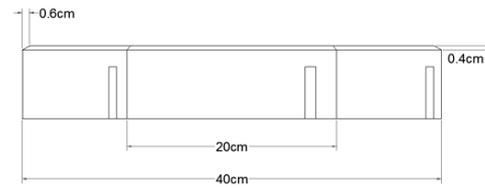
MATÉRIEL ABS (E 2100 MPa)

PIÈCE INFÉRIEURE:

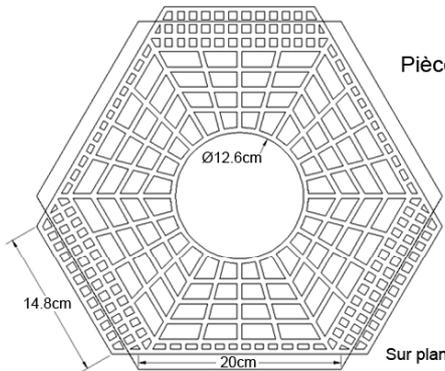
MATÉRIELS: (POUR DOSAGE, VOIR GUIDE)
 RÉSISTANCE TRACTION-FLEXION: 3,6 MPa



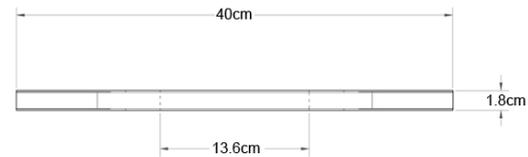
Pièce supérieure



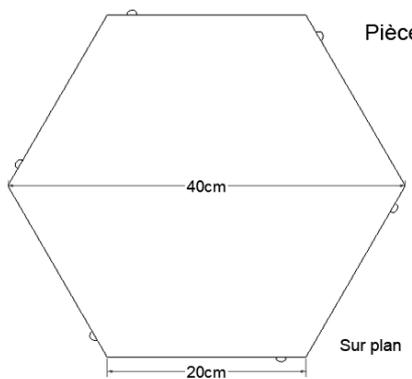
En élévation



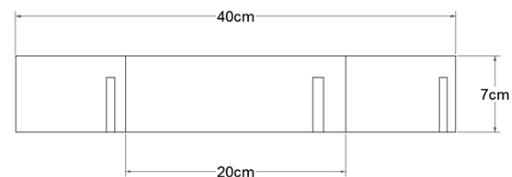
Pièce intermédiaire



En élévation



Pièce inférieure

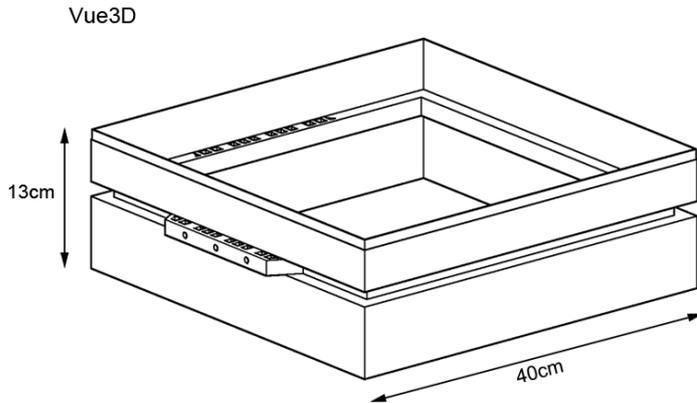


En élévation

Image 6. Géométrie du pavé démontable hexagonal de 20 cm de côté.

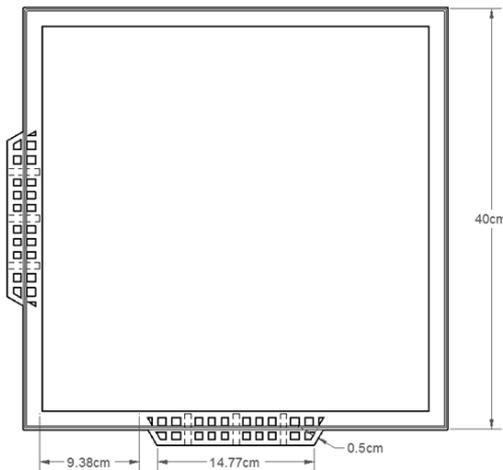
PDI-SQ400

CARRÉ 40 CM DE CÔTÉ IN SITU

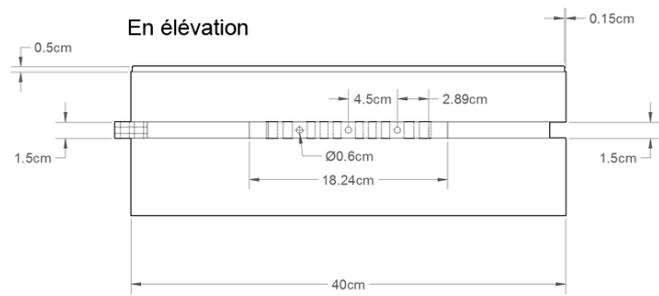


MATÉRIELS: ABS (E 2100 MPa)

Sur plan



En élévation



Jointure pour chanfrein

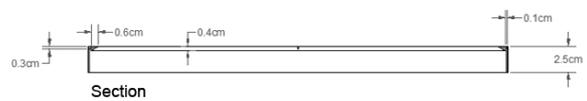
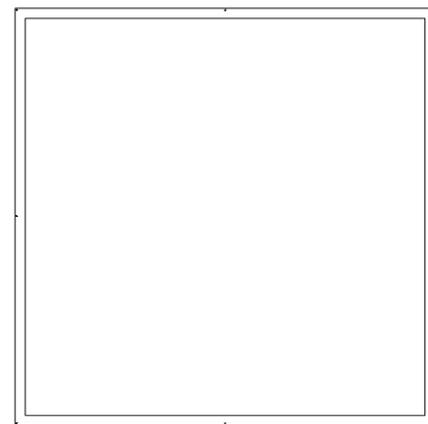
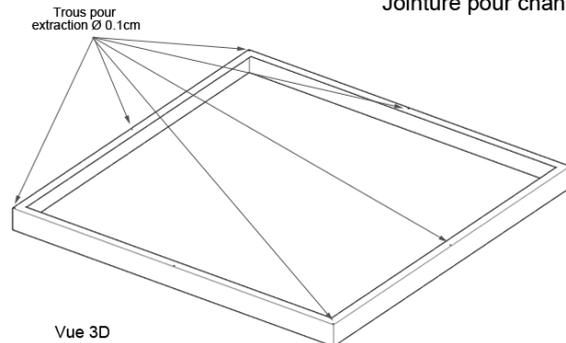


Image 7. Géométrie du pavé démontable in situ rectangulaire de 40 cm de côté.

PDP-HEX150

HEXAGONAL 15 CM DE CÔTÉ IN SITU, *HEXATRIPÈDE*

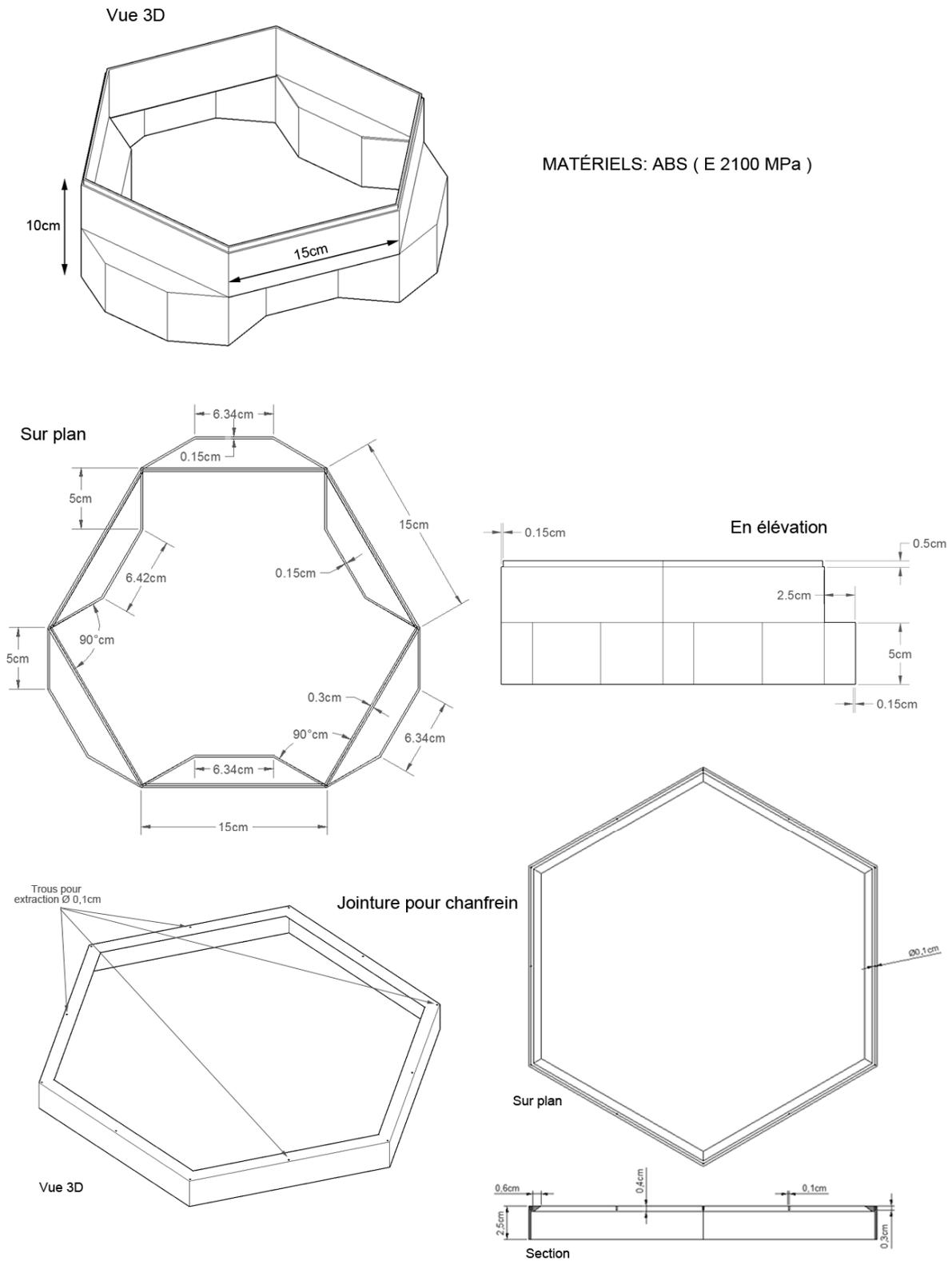
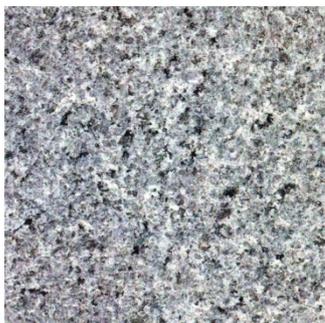


Image 8. Géométrie du pavé démontable in situ hexagonal de 20 cm de côté.

2e. Terminaisons superficielles.

FINITION EN GRANIT



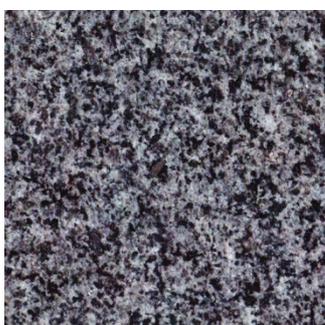
G00



G01



G02



G03



G04



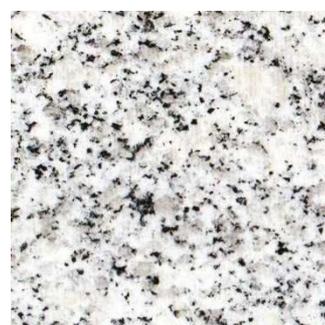
G05



G06



G07



G08



G09



G010



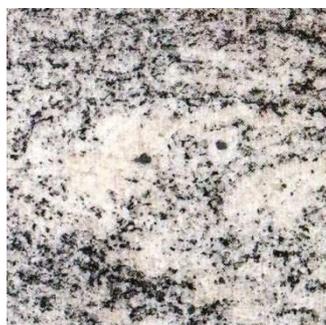
G11



G12



G13



G14



G15



G16



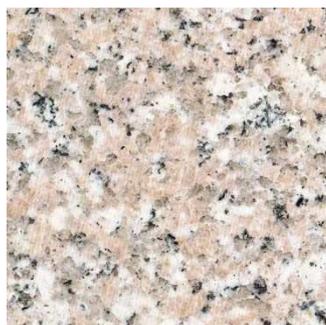
G17



G18



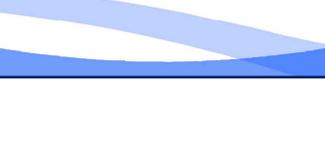
G19



G20



G21



G22



G23

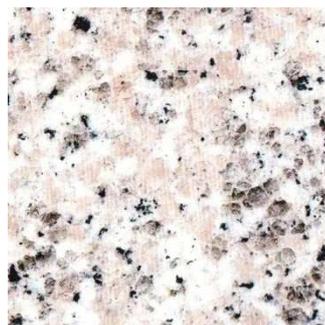




G24



G25



G26



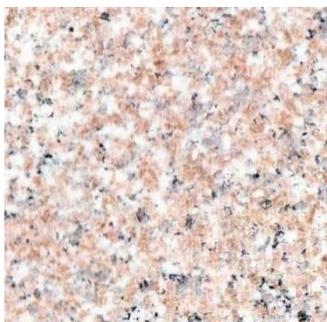
G27



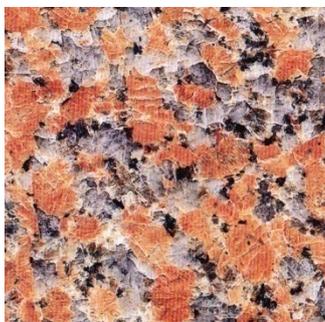
G28



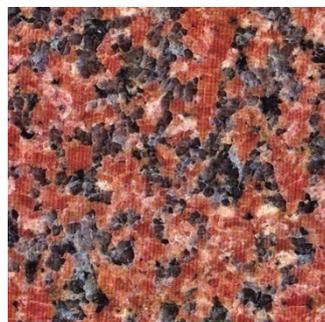
G29



G30



G31



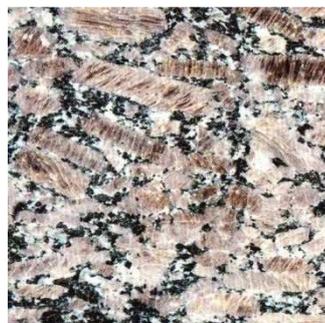
G32



G33



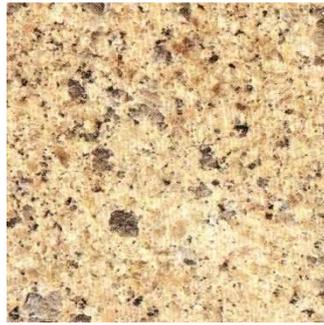
G34



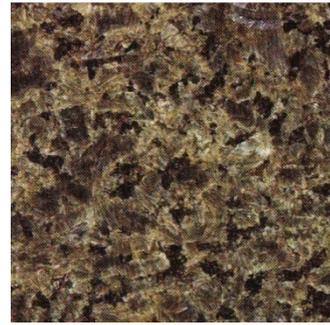
G35



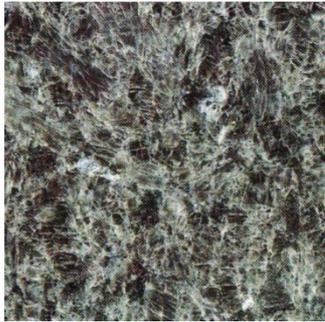
G36



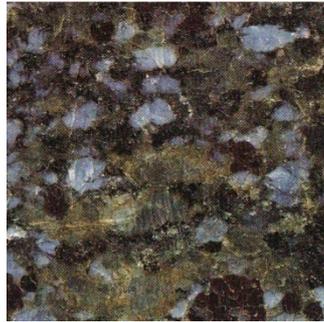
G37



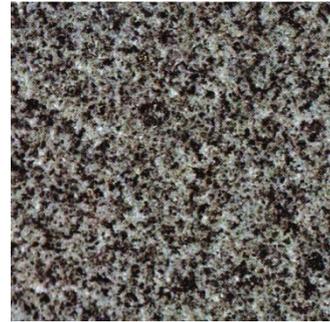
G38



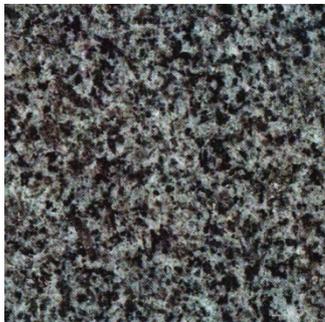
G39



G40



G41



G42



G43



G44



G45



G046



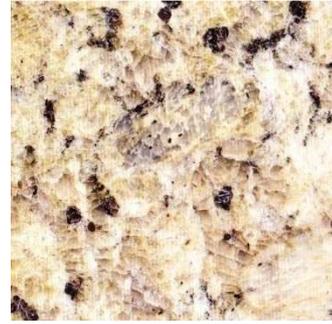
G47



G48



G49



G50



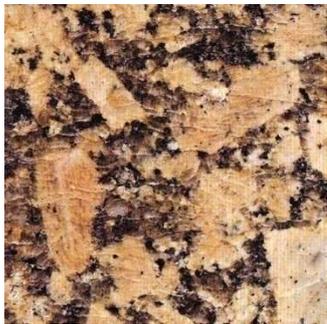
G51



G52



G53



G54



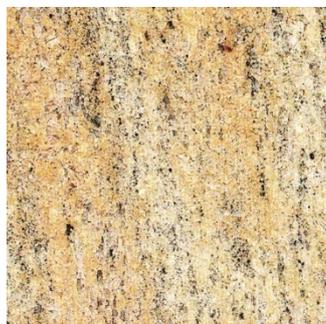
G55



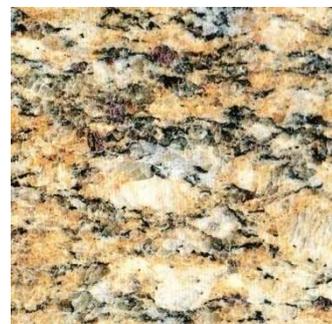
G56



G57



G58



G59



G60



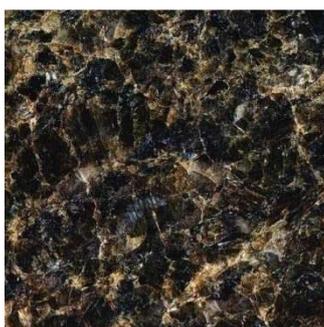
G61



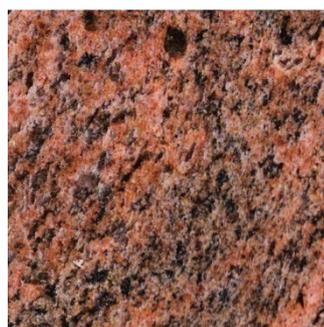
G62



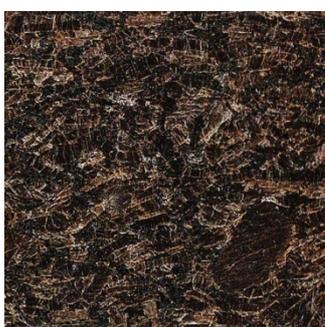
G63



G64



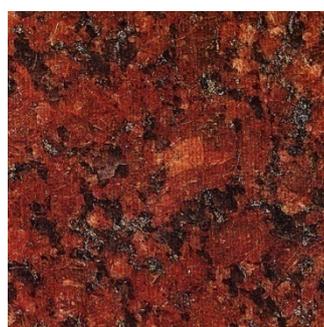
G65



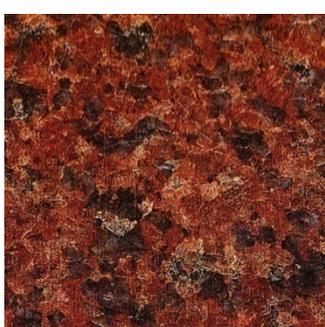
G66



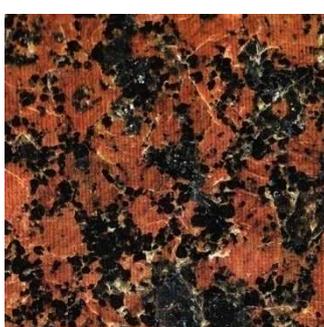
G67



G68



G69



G70



G71



G72



G73

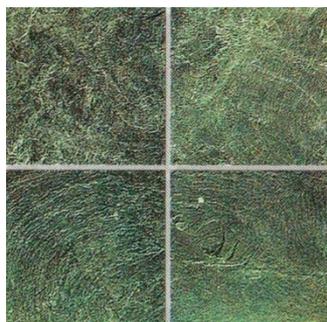


G74



G75

FINITION EN ARDOISE



P01



P02



P03



P04



P05



P06



P07



P08

COULEURS DISPONIBLES POUR PAVÉS IN – SITU



CI01



CI02



CI03



CI04



CI05



CI06



CI07



CI08



CI09



CI10

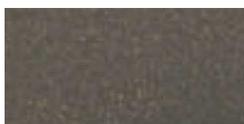


CI11

COULEURS DISPONIBLES POUR PAVÉS PRÉFABRIQUÉS



CP01



CP02



CP03



CP04



CP05



CP06

COULEURS MIXTES POUR PAVÉS PRÉFABRIQUÉS



MI01



MI02



MI03

PARTIE 3. MATÉRIAUX

Plus bas, on résume les principales caractéristiques des matériaux utilisés pour les pavés détachables.

3a. ABS dans les assemblages pour les pavés préfabriqués et dans les moules pour les solutions in situ.

Élasticité du module MPa et coefficient de Poisson $\nu=0.33$.

Le reste des propriétés est indiqué dans le tableau suivant:

	Méthode d'essai	Condition d'essai	Unité	Valeur
Propriétés mécaniques				
Résistance à la rupture	ASTM D 638	1/8", 6 mm/min	MPa	40
Allongement à la rupture	ASTM D 638	1/8", 6 mm/min	%	30
Résistance à la flexion	ASTM D790	1/4", 2.8 mm/min	Kg/cm ²	540
Module d'élasticité	ASTM D 638	1/8", 6 mm/min	MPa	2.100
Module de flexion	ASTM D 790	1/4", 2.8 mm/min	MPa	1.900
Dureté de Rockwell	ASTM D 785	1/2"	Scale R	R-108
Propriétés d'impact				
Essai de résistance au choc IZOD à température ambiante	ASTM D 256	1/4", 23° C	Kg-cm/cm	16
		1/8", 23° C	Kg-cm/cm	25
Propriétés thermiques				
VICAT 120° C./h	ASTM D 1525	1/8", 50°C/hr	°C	104
Trempe 85°C, 8 hr	ASTM D 648	1/4", 120°C/hr	°C	98
				87
Pas trempé				
Indice de fluidité en fondu	ASTM1238	200°C, 5 kg	g/10min	2,7
Propriétés physiques				
Gravité spécifique	ASTM D 792		g/cm ³	1.05
Essai d'inflammabilité des mousses	UL 94			1/16" HB

Table 1-1. Propriétés ABS

3b. Béton pour les pavés préfabriqués

Le dosage recommandé est le suivant:

Béton (couche inférieure des pavés supérieurs et inférieurs):

Sable, (0-4 mm)	1.100 Kg
Granulat, (rivière) (8-10 mm)	330 Kg
Granulat, (rivière) (4-8 mm)	330 Kg
Ciment 42,5 R	245 Kg (teneur minimum)
Plastifiant	2,5 L
Autre additif	0.5 L
Eau	50-65 l (selon la teneur en ciment)

Couche supérieure du pavé supérieur

Silice	100 Kg
Granulat, (écrasé) (1-2 mm)	75 Kg
Ciment 42,5	45 Kg (teneur minimum)
Additif	0.1 l
Teinture	1,5-2,5 Kg (quand la couleur est prévue)
Eau	20-25 l (selon la teneur en ciment)

3c. Béton pour les pavés in situ avec circulation abondante

Granulat	1.760 Kg
Ciment 42,5 R	360 Kg (teneur minimum)
Plastifiant	2 l
Fibre de verre 36 mm de longueur.	18 Kg
Eau	180 l (selon la teneur en ciment)

Granulat:

Fraction grossière 40%.

Fraction fine 60%.

3d. Béton pour les pavés in situ des trottoirs (pas de circulation espérée).

Granulat	1.760 Kg
Ciment 42,5 R	250 Kg (teneur minimum)
Plastifiant	2 l
Fibre de verre 36 mm de longueur.	18 Kg
Eau	125 l (selon la teneur en ciment)

Granulat:

Fraction grossière 40%.

Fraction fine 60%.

3e. Finition de superficie en béton in situ

Le dosage est identique à celui des solutions préfabriquées (couche supérieure du pave supérieur).

3f. Fibre de verre

- Teneur minimum en ZrO₂ >15%.
- Longueur de la fibre : 36 mm.
- Perte au feu = 2 %.
- Filaments unis formant des fils.
- Diamètre du filament = 14 μ
- Masse linéaire (g/km) = 2.450 Tex.
- Densité = 2,68 g/cm³
- Allongement à la rupture du fil = 4,5 %.
- Module de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Résistance à la traction du fil (Nw/mm²) (MPa) > 1.700 MPa
- Résistance à la traction du Filament Vierge = 3.500 MPa

3g. Ciment, arides, eau, additifs et pigments non organiques

En général, ils respecteront la norme EN 1338 et les normes nationales pour la fabrication de pavés.

3h. Sable de scellage et de base

L'objectif de la couche de base est de servir comme une base d'appui du pavé inférieur pour les solutions préfabriquées ou d'appui pour les moules d'injection dans les solutions in situ, en permettant un regroupement et un nivellement correct.

L'objectif de la couche de scellage est de boucher les trous qui restent dans les jointures entre les pavés des solutions préfabriquées comme celle in situ. Il doit être indiqué, qu'à la différence des pavés conventionnels, dans ce cas la fonction de la couche de scellage est d'éliminer les possibilités de mouvements existantes entre les pavés, puisque la fonction structurelle est apportée par la jointure intermédiaire.

La granulométrie de la couche de base (2mm- 5mm) ne correspond pas réellement à du sable en soi, cependant il est fréquent de qualifier ce matériel comme du sable

L'épaisseur de la couche de base sera comme de 2 cm minimum, à disposer sur la couche granulaire et à déposer sur le terrain.

On n'autorise pas les sables fins de caractère plastique inférieurs à 75 microns, étant la limitation du contenu maximum de matière organique et d'argile de 3%. En général, quand le sable est en adéquation avec la fabrication de béton, on le considèrera bon pour l'utiliser comme couche de sable.

On tâchera que les sables soient anguleux en interdisant l'utilisation des sables calcaires. Les sables doivent être libres de sels solubles nocifs ou d'autres substances contaminants, sinon ce la provoquerait l'apparition d'efflorescence.

Pour la couche de scellage on recommande que toute la granulométrie soit inférieure à 1,25 mm. On permet d'utiliser le même dosage de la couche supérieure de finition sèche, en incluant ciment et colorant, ainsi que silice pour sceller les jointures.

La granulométrie des couches de sable suivra les fuseaux granulométriques suivants:

Fuseau granulométrique (mm)	Couche de base	Couche de scellage
5.000	50-100	100
2.500	10-50	100
1.250	0-5	90-100
0.630	--	60-90
0.315	--	30-60
0.160	--	15-30
0.080	--	5-10

Table 1-2. Granulométrie des couches de base.

PARTIE 4. CONTRÔLE DE QUALITÉ.

On résume plus bas, les aspects les plus importants des critères de qualité à assurer pour les pavés démontables.

4a. Contrôle de pavés préfabriqués:

Dimensions nominales

Les dimensions nominales qui se définissent seront celles indiquées dans ce Guide, et elles devront respecter les conditions qui vont être détaillées ci-dessous.

Il doit être indiqué que les pavés démontables se font remarquer spécialement par la précision géométrique des moyens de fabrication, c'est la raison pour laquelle les tolérances géométriques sont très strictes.

Tolérances dimensionnelles

Les pavés devront répondre aux dimensions établies dans ce Guide. Les pavés respecteront les conditions dimensionnelles, si pour chaque essai de dimension nominale, la valeur moyenne de l'échantillon correspond à la dimension nominale déclarée par le fabricant, à l'intérieur des tolérances établies

Épaisseur du pavé : +/- 1 mm.

Base du pavé. Complètement plat, sans protubérances, renforcement ou saillie, en devant garantir un contact parfait avec la jointure intermédiaire. Le contact sera assuré quand la pièce ne présente pas de mouvement par rapport à la jointure intermédiaire, s'il est chargé.

Côté du pavé : +/- 0,7 mm.

Diagonales intérieures : +/- 1 mm.

Épaisseur de la couche superficielle du pavé supérieur : elle ne saura pas inférieure à 10 mm.

Contrôle de l'aspect

Les superficies des pavés ne présenteront pas de défauts superficiels pour un pourcentage supérieur à 5%. Sa vérification se réalisera sur un échantillon composé de 20 pavés, étant ces derniers secs. Dans le cas où les résultats de cette vérification ne soient pas satisfaisants, on recommencera l'inspection, en prenant 3 nouveaux échantillons de 20 pavés chacun, jusqu'à vérifier un total de 80 pavés.

Texture et couleur

Dans le cas de pavés fabriqués avec des textures superficielles spéciales, la texture sera décrite par le fabricant. Les couleurs peuvent être contenues dans la double couche ou dans tout le pavé, au choix du fabricant.

Les pavés décrits comme de couleur naturelle ne contiendront pas de pigments ni de ciments pigmentés.

La texture, la tonalité et la couleur des pavés sera pratiquement uniforme pour chaque lot, sauf que, pour des raisons esthétiques, on ait prétendu le contraire.

Propriétés physiques et mécaniques

Les pavés respecteront les prescriptions suivantes:

Absorption d'eau

Les pavés seront résistants aux gelées avec un coefficient d'absorption inférieur à 6%

Résistance à la traction

On exige la même requête que pour un pavé conventionnel. La résistance à cet effort, T_n , ne sera pas inférieur à 3,6 MPa, et aucun des résultats individuels ne sera inférieur à 2,9 MPa.

Les pavés respecteront cette condition si la valeur moyenne de la résistance de l'échantillon à cet effort, déterminé au moyen de la méthode décrite dans la norme EN 1338, n'est pas inférieure à 3,6 MPa et si les valeurs inférieures à 2,9 MPa n'ont pas été obtenues.

Usure par abrasion

Elle ne sera pas supérieure à 23 mm en suivant la méthode de la EN 1338 dans aucun des pavés de l'échantillon.

Caractère glissant

Il respectera les normes suivantes:

UNE ENV 12633	DIN 51130	DIN 51097	ASTM C 1028-07	
Méthode Pendule	Méthode Rampe Pieds chaussés	Méthode Rampe Pieds nus	CoF.SÈC	CoF.MOUILLÉ
Catégorie 3	R-12	Catégorie C	≥ 0,6	≥ 0,6

Table 1-3. Caractère glissant des pavés.

4b. Produits d'injection

Dimensions nominales

Les dimensions nominales qui se définissent seront celles indiquées dans ce Guide, et elles devront respecter les conditions qui vont être détaillées ci-dessous.

Tolérances dimensionnelles

Les produits d'injection devront répondre aux dimensions établies dans ce Guide. Ils respecteront les conditions dimensionnelles, si pour chaque essai de dimension nominale, la valeur moyenne de l'échantillon correspond à la dimension nominale déclarée par le fabriquant, à l'intérieur des tolérances établies.

Épaisseur de la face d'injection : $\pm 0,1$ mm.

Hauteurs des côtés : $\pm 0,1$ mm.

Longueur des côtés : $-0,2$ mm.

Diagonales intérieures : $\pm 0,25$ mm

Alignement des segments droits : flèche maximum : $-0,3$ mm.

Intégrité géométrique

On n'admet pas d'unités d'injection défectueuses pour un pourcentage supérieur à 0,5% dans lesquelles on n'a pas complétée la géométrie de la pièce par erreur dans le procédé de fabrication, ou bien s'il existe des cavités, des creux, des fissures ou des trous.

Superposition entre les pièces

Les pièces pourront s'assembler entre elles sans besoin d'exercer une pression ou déformer les pièces. L'exécution des tolérances dimensionnelles doit être garantie à ce respect.

Alignement des bords et contact entre les pièces

Les murs des bords n'auront pas de flèches supérieures à celles indiquées comme tolérances dimensionnelles, ce qui certifie le contact correct entre les pièces.

Texture et couleur

Pour l'utilisation des matériaux recyclés, on admet que la couleur ne soit pas uniforme.

Propriétés mécaniques, de l'impact, thermiques et physiques

Les produits de l'injection respecteront les prescriptions indiquées dans la table 1.

4c. Contrôle de pavés exécutés in situ:

Dimensions nominales

L'exécution des pavés in situ se limitera aux dimensions des produits d'injection, en devant pas utiliser les unités cassées ou qui ne s'ajustent pas aux tolérances dimensionnelles.

Contrôle de l'aspect

Les surfaces des pavés ne présenteront pas de piquets, d'irrégularités superficielles ou saillantes. Les unités exécutées in situ qui présentent de tels défauts devront se retirer pour à nouveau être exécutées. On contrôlera spécialement qu'une fois exécutée la couche superficielle du pavé, personne ne marche sur elle.

Texture et couleur

Les couleurs peuvent être contenues dans la double couche ou dans tout le pavé, au choix du fabricant. On fera attention pour que la texture, la tonalité et la couleur des pavés soient uniformes, en maintenant uniforme le dosage de la couche de terminaison du pavé. Cette couche ne sera pas inférieure à 20 mm.

Propriétés physiques et mécaniques

Les pavés respecteront les mêmes prescriptions que les pavés préfabriqués avec l'exception de l'essai à la rupture qui se substitue par l'essai de résistance traction-flexion dans l'éprouvette prismatique. Pour le contrôle et l'élaboration des essais, les échantillons se feront à l'extérieur du pavé avec le même matériel de remplissage.

Absorption d'eau

Les pavés seront résistants aux gelées avec un coefficient d'absorption inférieur à 6 %.

Résistance traction-flexion

On exige qu'au moment de l'ouverture à la circulation la résistance traction-flexion soit supérieure à 3,6 MPa, et qu'aucun des résultats individuels ne soit inférieur à 2,9 MPa.

Les pavés respecteront cette condition si la valeur moyenne de la résistance de l'échantillon à cet effort, déterminé au moyen de la méthode décrite dans la norme UNE 83300:1984, UNE 83301:1991, UNE 83305:1986, n'est pas inférieure à 3,6 MPa et si les valeurs inférieures à 2,9 MPa n'ont pas été obtenues. On recommande d'utiliser des éprouvettes de 13x15x60.

Usure par abrasion

Elle ne sera pas supérieure à 23 mm en suivant la méthode de la EN 1338 dans aucun des pièces de l'échantillon.

Caractère glissant

Il respectera les normes suivantes:

UNE ENV 12633	DIN 51130	DIN 51097	ASTM C 1028-07	
Méthode Pendule	Méthode Rampe Pieds chaussés	Méthode Rampe Pieds nus	CoF.SÈC	CoF.MOUILLÉ
Catégorie 3	R-12	Catégorie C	≥ 0,6	≥ 0,6

Table 1-4. Caractère glissant des pavés démontables.

4d. Contrôle dans le processus de fabrication et d'approvisionnement

Pavés in situ ou préfabriqués

On révisera correctement le dosage sélectionné. Chaque composant respectera les prescriptions indiquées dans ce guide et dans la norme d'application.

Pour les exécutions in situ comme pour les préfabriquées, le mélange a une influence très importante pour l'obtention des niveaux de qualité optimaux du produit terminé. Le mélange des composants doit être effectué à travers d'un mélangeur qui permet de garantir la homogénéité maximale du pétrissage. Le temps du mélange, mesuré à partir de la fin de la charge de tous les composants prévus doit être suffisant pour garantir l'homogénéité du pétrissage.

La vibration des pièces exécutées in situ doit garantir l'absence des cavités et des vides intérieurs, ainsi que le remplissage complet.

Dans le cas de la vibro-compression, il sera très important le contrôle de l'uniformité géométrique de la station de vibration en évitant les irrégularités sans tolérances. De la même manière, on contrôlera la régularité des moules métalliques.

Le procédé de durcissement ne sera pas inférieur à deux semaines dans le cas des éléments préfabriqués et 7 jours dans le cas des solutions in situ sans ouverture à la circulation.

Les pavés préfabriqués se fourniront en palettes avec une superficie moyenne de 7 à 10 mètres carrés par palette. Quand le client le demandera, les palettes recevront le certificat phytosanitaire.

Chaque palette de pavé préfabriqué inclura une identification avec les données suivantes:

- Identification de la marque ACTISA ou similaire.
- Identification du fabricant et de l'usine.
- Identification du pavé pour revêtement démontable et de la typologie.
- Identification de ses dimensions nominales.
- Identification du produit au moyen de l'expression "REVÊTEMENT DÉMONTABLE PRÉFABRIQUÉ-PAVÉ".
- Identification de la date de pressurage.

L'identification restera reflétée sur le bordereau-facture à la livraison, et sur l'emballage de la palette, au moins en deux points.



Image 9. Palette de pièces préfabriquées.

Pièces d'injection

Pendant le processus d'injection on surveillera le fonctionnement correct du moule, l'ouverture de glissières et l'expulsion de la pièce refroidit.

La pièce se retiendra dans le moule avant son expulsion, le temps nécessaire pour éviter les déformations.

Les granules ou les granules de bois du matériel d'injection devront être adéquats pour le procédé d'injection en garantissant le remplissage complet du moule et la reproduction parfaite de la pièce.

Le fabricant devra calibrer correctement son équipe d'injection, (temps, pression, etc..) afin de garantir les prescriptions du produit établies dans ce guide.

Pour ce qui concerne chaque palette de pièce injectée, elle inclura l'information suivante:

- -Identification de la marque ACTISA ou similaire.
- -Identification du fabricant et de l'usine.
- -Identification de la pièce injectée pour revêtement démontable et de la typologie.
- -Identification de ses dimensions nominales.
- Identification du produit au moyen de l'expression "REVÊTEMENT DÉMONTABLE PRÉFABRIQUÉ-JOINTURE D'INJECTION" ou bien, pour revêtement in situ, "REVÊTEMENT DÉMONTABLE IN SITU-ABS MOULE".
- -Identification de la date d'injection.



Image 10. Palette de jointures d'injection.

4e. Contrôle en réception

Pavés préfabriqués

Au moment de la livraison, on approuvera la conformité de la quantité, du marquage et de l'aspect (défauts superficiels, texture, couleur, géométrie et régularité de la base). On prendra au hasard entre les pavés livrés, les nécessaires pour la vérification de "l'aspect", en prenant un échantillon de 20 pavés pour chaque 2000 m² ou fraction, fournis par un même modèle, de la même couleur. On respectera les prescriptions indiquées dans ce guide en relation à l'aspect, la texture, la couleur et la régularité de la base. Pour ce dernier aspect, on vérifiera le bon contact avec les jointures intermédiaires d'ABS. Le client remplira une fiche de validation au transporteur pour sa livraison au fabricant ou à l'entreprise qui commercialise.

Au cas où les résultats de cette vérification ne soient pas satisfaisants, cette inspection se répètera, en prenant trois nouveaux échantillons de 20 pavés chacun d'eux pour chaque 2000 m² de pavés fournis au jour d'un modèle et une couleur identique. Le lot sera accepté s'il n'y a plus de quatre pavés défectueux.

Pièces d'injection

De la même manière, au moment de la livraison, on approuvera la conformité de la quantité, du marquage et la géométrie (intégrité géométrique, capacité d'assemblage, alignement des bords et du contact entre les pièces). On prendra au hasard entre les pavés livrés, les nécessaires pour la vérification, en prenant un échantillon de 50 unités pour chaque 10.000 ou fraction, fournis par un modèle identique. On respectera les prescriptions indiquées dans ce guide en relation à l'intégrité géométrique, l'assemblage, l'alignement des bords et le contact

entre les pièces. Le client remplira une fiche de validation au transporteur pour sa livraison au fabricant ou à l'entreprise qui commercialise.

Au cas où les résultats de cette vérification ne soient pas satisfaisants, cette inspection se répètera, en prenant trois nouveaux échantillons de 50 pièces chacun d'eux pour chaque 10 000 m² de pièces injectées d'un modèle identique. Le lot sera accepté s'il n'y a plus de deux pièces défectueuses.

4f. Contrôle dans le laboratoire

Dimensions du lot:

Pavés préfabriqués : 2000 m².

Pavés in situ : 2000 m².

Pièces d'injection : 10.000 unités

Matériel d'injection : 10.000 unités.

Dimensions de l'échantillon : unités pour réaliser les essais

Pavés préfabriqués : 3 x (6 unités). Pavés ayant surpassé le contrôle en réception. (Essais en triple)

Pavés in situ : 3 x (6 unités). Pavés préfabriqués avec le même matériel de remplissage que les pavés in situ. (Essais en triple).

Pièces d'injection : 20 unités. Pièces ayant surpassé le contrôle en réception.

Matériel d'injection: matériel pellet pour les éprouvettes, (60 kg). On injectera trois échantillons des dimensions fixés selon les normes DIN. Le matériel pourra être obtenu moyennant la trituration des pièces du lot jusqu'à obtenir les 60 kg.

Conservation

Les échantillons seront dûment maintenus et conservés jusqu'au jour d'élaboration de chaque essai. Les pièces d'injection devront être protégées d'insolation.

Élaboration des essais.

- caractéristiques géométriques.
- absorption d'eau.
- résistance à la rupture.
- résistance à l'abrasion.
- caractère glissant.

Pièces préfabriquées

Les essais suivants seront élaborés en employant trois pièces:

Les pièces employées dans le contrôle dimensionnel pourront être utilisées pour les essais destructifs.

On recueillera l'âge des pièces dans les rapports des essais. Mais, on devra tenir en compte que les pavés doivent respecter les caractéristiques physiques indiquées une fois qu'ils sont passés 28 jours après le pressurage.

L'envoi des échantillons pour les essais à réaliser devra être lieu trois semaines après la réception des pavés. Par ailleurs, les essais doivent être envoyés dans un délai de quatre semaines à partir de la réception des pavés dans le laboratoire.

La désignation du laboratoire sera convenue entre l'acheteur et le fabricant. La date du prélèvement des échantillons et de la réalisation des essais seront fixé aussi d'un commun accord. Le fabricant pourra être présent ou représenté dans tous les deux processus.

De la même manière, les vérifications et les essais ainsi que la réception pourront être réalisées dans les équipements du fabricant, par consentement du acheteur.

Le récepteur devra communiquer au fabricant tout désaccord ou objection, immédiatement après connaître le résultat des essais.

Si les pavés étaient disposés avant la réalisation des essais, on serait présumé que le récepteur est totalement d'accord avec les matériaux disposés.

Si les résultats des essais réalisés sur chaque lot sont satisfaisants, les matériaux sont acceptés.

Si un ou plus d'un essai n'est pas satisfaisant, on fera, pour les caractéristiques douteuses, deux séries d'essais de contraste, à moins que le fabricant décide de retirer le lot. Ces essais seront réalisés une fois qu'ils sont passés 28 jours après le pressurage dans un laboratoire désigné aussi d'un commun accord entre l'acheteur et le fabricant

Si ces essais de contraste sont satisfaisants, le lot est accepté, si non, le lot pourra être bien reclassifié (lorsque cela est possible et l'acheteur l'accepte) ou bien refusé.

Les coûts des essais et échantillons seront assumés par la personne sollicitant des essais. Au cas où les résultats finaux ne soient pas satisfaisants, ces coûts seront assumés par le fabricant.

Pièces exécutées in situ

Les essais suivants seront élaborés en employant trois pièces:

- absorption d'eau.
- résistance à traction-flexion.
- Résistance à l'abrasion.
- caractère glissant.

On recueillera l'âge des pièces dans les rapports des essais. Mais, on devra tenir en compte que les pavés doivent respecter les caractéristiques physiques indiquées quand la circulation s'ouvre (7 jours minimum). L'essai sera accepté 28 jours après la fabrication du béton puisqu'il suffit de 7 jours pour que la résistance traction-flexion soit 75%.

L'envoi des échantillons pour les essais à réaliser devra avoir lieu trois semaines après la réception des pavés. Par ailleurs, les essais doivent être envoyés dans un délai de quatre semaines à partir de la réception des pavés dans le laboratoire.

La désignation du laboratoire sera convenue entre le promoteur et le constructeur. La date du prélèvement des échantillons et de la réalisation des essais seront fixé aussi d'un commun accord. Le constructeur pourra être présent ou représenté dans tous les deux processus.

Le promoteur devra communiquer au fabricant tout désaccord ou objection, immédiatement après connaître le résultat des essais.

Si les résultats des essais réalisés sur chaque lot sont satisfaisants, l'exécution est acceptée.

Si un ou plus d'un essai n'est pas satisfaisant, on fera, pour les caractéristiques douteuses, deux séries d'essais de contraste, à moins que le constructeur décide de retirer le lot. Ces essais seront réalisés une fois qu'ils sont passés 28 jours après le pressurage dans un laboratoire désigné aussi d'un commun accord entre le promoteur et le constructeur.

Si ces contrôles complémentaires sont satisfaisants, l'exécution du lot est acceptée et, si non, le revêtement est enlevé.

Les coûts des essais et échantillons seront assumés par la personne sollicitant des essais. Au cas où les résultats finaux ne soient pas satisfaisants, ces coûts seront assumés par le constructeur.

Pièces injectées

On fera les suivants essais sur la totalité des pièces (20 unités par lot).

- contrôle géométrique et tolérances.
- densité : ASTM D 792

Les échantillons seront fabriqués, (3) avec matériel d'injection (pellets) pour chacun des essais suivants:

- ASTM D638.
- ASTM D790.
- ASTM D785
- ASTM D256.
- ASTM D1525.
- ASTM D648.
- ASTM 1238.
- UL 94.

L'envoi des pièces pour les essais à réaliser devra avoir lieu une semaine après la réception dans le lieu de construction. Par ailleurs, les essais doivent être envoyés dans un délai de deux semaines à partir de la réception des pièces dans le laboratoire. Par ailleurs, les pellets seront pris par le laboratoire un jour quelconque pendant la fabrication du lot. Si cela n'est pas possible, le matériel s'obtiendra par la trituration des pièces du lot correspondant.

La désignation du laboratoire sera convenue entre le promoteur et le fabricant. La date du prélèvement des échantillons et de la réalisation des essais seront fixé aussi d'un commun accord. Le fabricant pourra être présent ou représenté dans tous les deux processus.

Le récepteur devra communiquer au fabricant tout désaccord ou objection, immédiatement après connaître le résultat des essais.

Si les résultats des essais réalisés sur chaque lot sont satisfaisants, l'exécution est acceptée.

Si un ou plus d'un essai n'est pas satisfaisant, on fera, pour les caractéristiques douteuses, deux séries d'essais de contraste, à moins que le fabricant décide de retirer le lot. Ces essais seront réalisés une fois qu'ils sont passés 28 jours après le pressurage dans un laboratoire désigné aussi d'un commun accord entre le promoteur et le fabricant

Si ces contrôles complémentaires sont satisfaisants, l'exécution du lot est acceptée et, si non, le revêtement est enlevé.

Les coûts des essais et échantillons seront assumés par la personne sollicitant des essais. Au cas où les résultats finaux ne soient pas satisfaisants, ces coûts seront assumés par le fabricant.

PARTIE 5. EXÉCUTION ET DÉMONTAGE.

5a. Exécution de pavés démontables préfabriqués:

Une fois que les pavés sont reçus et validés dans le lieu de construction, l'exécution se compose des phases suivantes:

1. Finition, nivellement et compactage de la couche de sécurité et de la couche granulaire ou de grave selon le cas.
2. Épandage de sable sur les couches granulaires.
3. Nivellement de sables. L'épaisseur du sable ne sera inférieure à 2 cm et le nivellement sera validé par un topographe.
4. Placement des pièces de la couche inférieure. Les pièces seront placées en contact unes avec les autres, en laissant un joint de l'épaisseur des saillants perpendiculaires du pavé.
5. Traitement de bords. Les bords devront être finis par un élément rigide (bordure, rigola ou similaire). Quand cela n'est pas prévu, on s'exécutera une poutrelle minimum de 20 cm de largeur et 12 cm de hauteur. On laissera une jointure de 1 cm d'épaisseur minimale entre l'élément rigide et les pièces de la couche inférieure du pavé démontable. Cette jointure sera traitée avec du mortier de ciment.
6. Emplacement de la jointure intermédiaire d'injection en suivant l'assemblage à rainures et languettes.
7. Emplacement de la pièce supérieure. Les pièces seront en contact les unes avec les autres, en laissant un joint de l'épaisseur des saillants perpendiculaires du pavé.
8. Traitement des bords en suivant le même critère que celui de la couche inférieure.
9. Scellage des jointures avec de sable.
10. Ouverture immédiate à la circulation.



Image 11. Différentes étapes d'exécution du pavé préfabriqué démontable.

5b. Exécution in situ avec des moules d'injection

Une fois que les moules d'injection soient reçus et validés dans le lieu de construction, l'exécution du pavé in situ se compose de las phases suivantes:

1. Finition, nivellement et compactage de la couche de sécurité et de la couche granulaire ou de grave.
2. Épandage de sable sur le grave et la couche granulaire.
3. Nivellement de sables. L'épaisseur du sable ne sera inférieure à 2 cm et le nivellement sera validé par un topographe.

4. Épandage optionnel d'une lame de plastique (épaisseur minimum 200 micron), pour améliorer la régularité du fond des pavés.
5. Emplacement de moules d'injection en suivant l'assemblage à rainures et languettes. Les moules seront totalement en contact, ce qui signifie que le béton ne pourra pénétrer entre les jointures.
6. Découpage de moules d'injection dans les bords. Les bords devront être finis par des éléments rigides (rigolas, bordures ou similaire). Quand ces éléments n'existent pas, on sera exécuté une poutrelle de 20 cm de largeur minimum et 12 cm de hauteur.
7. Emplacement de coffrage dans points essentiels (coffret, grilles d'arbres, etc.).
8. Bétonnage de moules d'injection en utilisant un vibreur.
9. Emplacement de moules d'injection de formation de la jointure une fois que le béton soit durci ou frais (wet&wet).
10. Remplissage de béton superficiel de finition.
11. Enlèvement de la jointure superficiel après 48 heures.
12. Scellage des jointures avec de sable.
13. Ouverture à la circulation après 7 jours.

Quand la finition du pavé in situ soit réalisée avec des éléments superficiels préfabriqués ou avec dalles en pierre, le processus à partir du point 8 sera la suivante:

8. Bétonnage de moules d'injection en utilisant un vibreur et laissant un centimètre du moule sans remplir afin de permettre le postérieur épandage de mortier.
9. Quand le béton soit durci (au moins 24 heures après), on appliquera le mortier. Le mortier pourra surmonter la hauteur du moule en jusqu'à 5 mm.
10. Emplacement et nivellement de la pièce de finition.
11. Scellage des jointures aux bords.

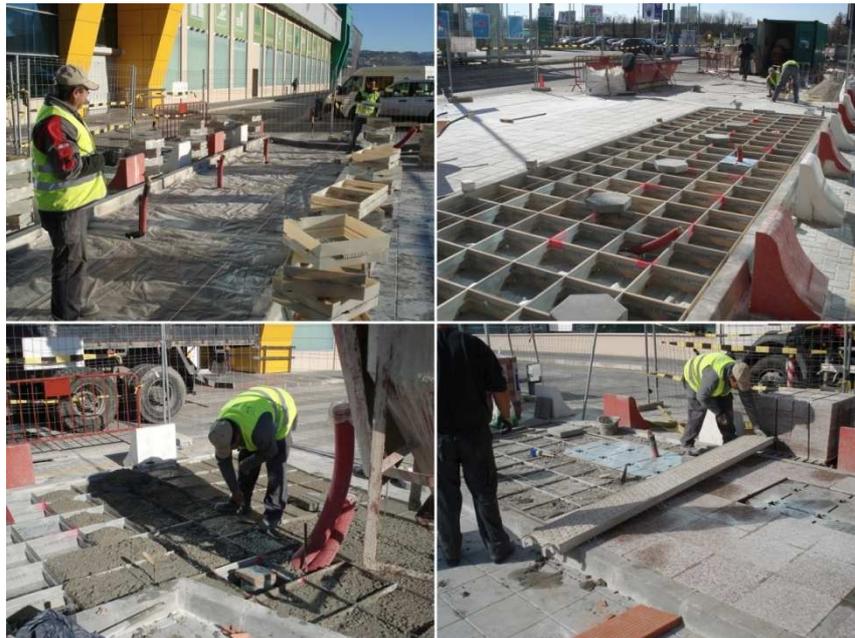


Image 12. Différentes étapes d'exécution du pavé in situ démontable.

5c. Combinaison de formats

La combinaison de formats enrichit extraordinairement l'esthétique du pavé. Cependant, il est jugé opportun de dûment traiter les jointures puisque les jointures sont les points de fragilité structurelle.

Le traitement est différent si les pavés sont préfabriqués ou in situ.

Pavés préfabriqués

Quand, aux bords, on ne peut pas compléter des pièces d'un des formats, la jointure intermédiaire de ce format se prolongera jusqu'à appuyer dans, au moins, 1/4 de la surface de la pièce contiguë de l'autre format. La jointure intermédiaire sera coupée en laissant l'espace nécessaire.

Quand aucune des deux formats ne peut être complétée au bord, l'unité la plus petite se prolongera sur les pièces les plus basses de celle plus grande.

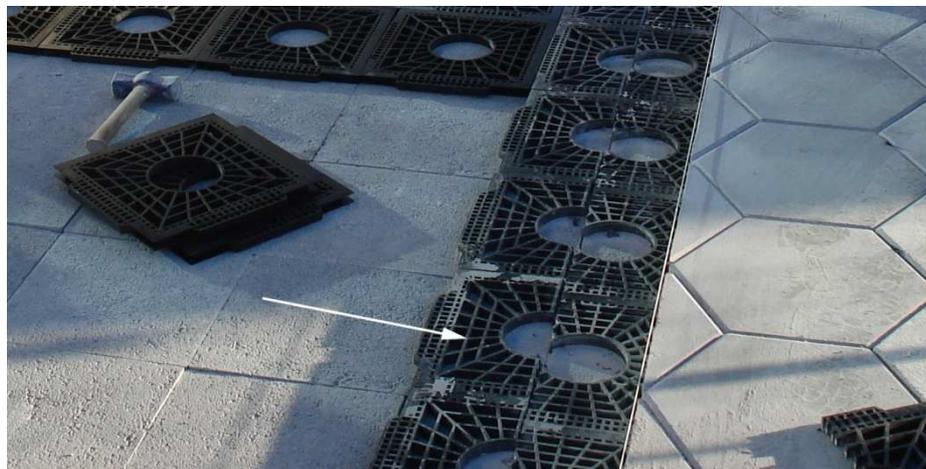


Image 13. Détail de superposition de la jointure intermédiaire

Pavés in situ

Dans ce cas, le format devra être exécuté en plaçant un coffrage de bord. Après l'exécution de ces pièces, on continuera avec celles des autres formats. On pourra traiter les jointures ou placer des plaques d'injection pour éviter des adhérences.



Image 14. Emploi de deux formats de pavé in situ.

PARTIE 6. SOLUTIONS URBAINES.

Une des avantages des pavés démontables est la possibilité de combiner couleurs et formats pour obtenir la meilleure finition esthétique.

L'éventail de possibilités est énorme, pouvant aller d'une solution monochrome quand on cherche la sobriété à une solution avec trois ou quatre formats et diverses couleurs quand on considère que le pavé a un rôle important dans l'esthétique urbaine.

Les architectes, ingénieurs et dessinateurs urbains chercheront les meilleures solutions pour chaque cas. Néanmoins, on inclut des différentes possibilités de combinaison ensuite.

SOLUTION MONOFORMAT ET MONOCHROME

En général, il s'agit des solutions avec une simplicité constructive plus grande. Leur grande sobriété la rend recommandable pour espaces où l'architecture des édifices veut être distinguée.



Image 15. Détail de solutions monoformat et monochrome.

SOLUTION MONOFORMAT ET BICOULEUR

On peut obtenir des formes en damier pour les solutions préfabriquées de format hexagonal moyennant l'emplacement de demi-pièces dans la couche supérieure. Pour les solutions in situ, on recommande l'exécution séquentielle de chaque format et la protection des pièces finies pour éviter des projections et des dommages sur la couche superficielle du format fini en premier lieu.



Matériels

Ref.:



Image 16. Détail de solutions monoformat et bicouleur.

SOLUTION MONOFORMAT ET MULTICOULEUR

Il s'agit d'une solution avec la même simplicité constructive. Il suffit de placer dûment chacune des couleurs qui intéressent.



Matériels

Ref.:



Image 17. Détail de solutions monoformat et multicolore.

SOLUTION MULTIFORMAT ET MONOCHROME

Bien qu'elle ait une difficulté constructive plus grande, elle permet d'apporter un jeu visuel plus grand. Celle-ci permet de différencier zones selon l'usage (parc de stationnement, voies, trottoirs, etc.). Pour les solutions préfabriquées, on doit correctement exécuter les superpositions des pièces intermédiaires.



Matériels

Ref.:

.prefabricated CP04



.prefabricated CP04

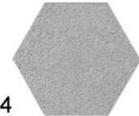


Image 18. Détail de solution multiformat et monochrome.

SOLUTION MULTIFORMAT ET BICOULEUR

Elle fait plus effective la différenciation d'espaces urbaines.



Matériels

Ref.:

.CP04



.CP03



Image 19. Détail de solution bifformat et bicouleur.

SOLUTIONS MULTIFORMAT ET MULTICOULEUR

Avec cette solution on atteint l'esthétique la plus riche dans le pavé urbaine.



Matériels
Ref.:

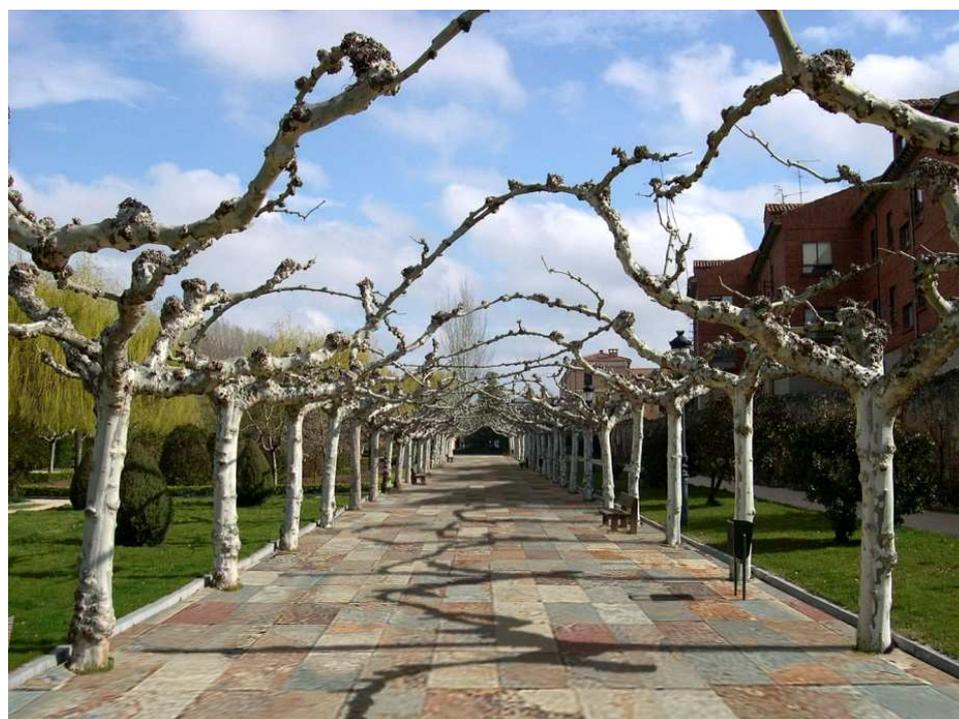
.CP01		
.CP02		
.CP04		
.CP05		

.CP03

Image 20. Détail de solutions avec divers formats et couleurs

SOLUTION EN PIERRE (IN SITU), UNE UNIQUE FINITION

Cette solution avec une unique couleur cherche la sobriété. C'est très approprié pour des milieux ruraux, des sites d'intérêt culturel ou des centres historiques.



Matériels
Ref.:

.P08	
------	--

Image 21. Détail de solution avec finition en pierre.

SOLUTION EN PIERRE (IN SITU), DES PLUSIEURS FINITIONS

Cette solution a un grand résultat esthétique bien qu'il soit plus cher. L'emploi de pavé démontable permet de réduire notamment l'épaisseur de pierre et de réduire le prix de ce type de pavé qui s'est exécuté jusqu'à présent avec des pavés en pierre d'un épaisseur très grand.



Matériels

Ref.:

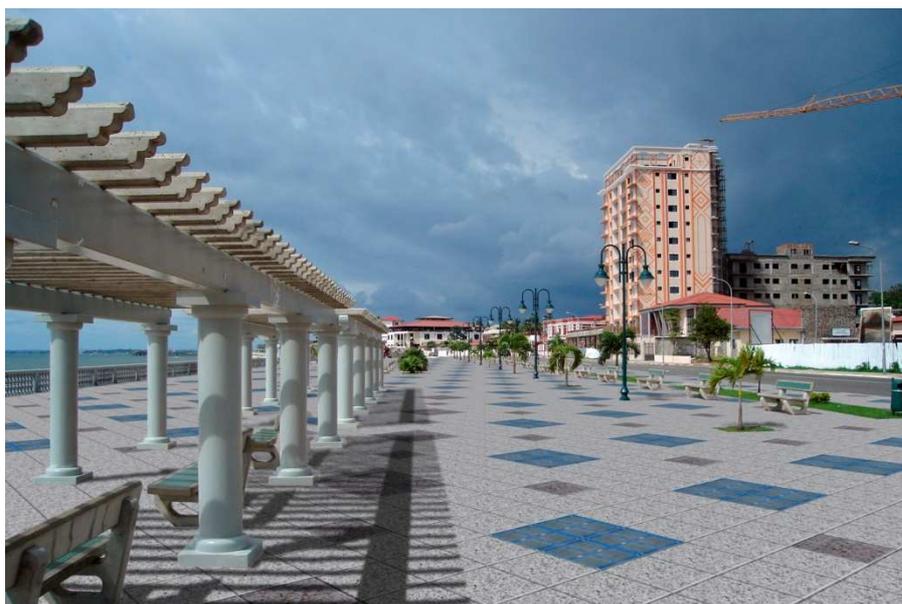


Image 22. Détail de solution avec finition en différentes typologies de pierre.

SOLUTION AVEC DALLE SOLAIRE

Cette solution s'adapte parfaitement à la géométrie des pavés démontables.

La combinaison peut se faire moyennant des solutions de signalisation, lumière fixe ou intermittente aux bords de la route, lumière décorative ou bien avec dalles solaires comportant dalles de production énergétique.



Matériels

Ref.:



Image 23. Détail d'incorporation de la dalle solaire au pavé.

PARTIE 7. DIMENSIONNEMENT DE PAVÉS DÉMONTABLES

7a. CLASSIFICATION DU TERRAIN NATUREL SOUS-JACENT (TNS).

Pour dimensionner les pavés démontables, on suit la classification commune de sols et matériaux établie par la normative technique générale. Le symbole ou code, la désignation du matériel et les prescriptions complémentaires pour son utilisation en noyau et couches de sécurité est fourni dans la table annexe.

Symbole	Désignation du matériel	Prescriptions complémentaires pour son utilisation	
		Noyau	Couches de sécurité
SIN	Sol Inadéquat	Non utilisable	Non utilisable
S00	Sol Marginal	Étude spéciale. Non utilisable dans les zones d'inondation	Non utilisable
S0	Sol Tolérable	CBR ≥ 3 Gonflement (1) < 3% Non utilisable dans les zones d'inondation	Non utilisable
S1	Sol Adéquat	CBR ≥ 5 Gonflement (1) < 3% Sauf dans les zones d'inondation où < 1%	CBR ≥ 5 Gonflement < 1% Seulement utilisable sur les sols SIN, S000 ou S0
S2	Sol Sélectionné Type 2	CBR ≥ 10 Gonflement < 1%	CBR ≥ 10 Gonflement (1) nul
S3	Sol Sélectionné Type 3	CBR ≥ 20 Gonflement (1) < 1%	CBR ≥ 20 Gonflement (1) nul
S4	Sol Sélectionné Type 4	CBR ≥ 20 Gonflement (1) < 1%	CBR ≥ 40 Gonflement (1) nul
S-EST1	Sol Stabilisé in situ Type 1	Chaux ou ciment $\geq 2\%$ y CBR à partir de 7 jours ≥ 6	
S-EST2	Sol Stabilisé in situ Type 2	Chaux ou ciment $\geq 3\%$ y CBR à partir de 7 jours ≥ 12	
S-EST3	Sol Stabilisé in situ Type 3	Résistance à la compression à partir de 7 jours ≥ 1.5 MPa et ciment $\geq 3\%$	
Z	Graves	Selon Art. 510 du PG-3	
ROCK	Déblai de la roche	-	Régularisation avec béton HM-20
P	Remblai en pierres sèches	Selon la réglementation	Non utilisable dans les couches de sécurité
TU	Remblai tout-venant	Selon la réglementation	Non utilisable dans les couches de sécurité
(1)	Le gonflement se fera en endomètre selon la Norme UNE 103.601		

Table 1-5. Emploi des matériaux en noyau et couches de sécurité.

Pour classer les remblais et les couches de sécurité dans le cadre du TNS, on fera l'essai CBR avec l'humidité optimale de l'essai Proctor Normal et une densité de 95 % de la valeur maximale établie dans l'essai Proctor Normal pour n'importe quel type de sol. La classification du TNS sera faite avec des échantillons placés 2 m en dessous de l'assainissement prévu pour le déblai ou 2 m en dessous de la surface du désherbage en remblais.

7b. CARACTÉRISATION DU TERRAIN DE FONDATION

On considère trois catégories de fondation de revêtement:

- BASSE avec un module équivalent E_e de 60 MPa (E1)
- MOYENNE avec un module équivalent E_e de 100 MPa (E2)
- HAUTE avec un module équivalent E_e de 160 MPa (E3)

Pour les matériaux type S2, S3, S4, tout-venant, grave naturelle ou grave artificielle, on considérera la valeur du module d'élasticité détaillée ci-dessous:

Matériaux	E maximum (MPa)	Coefficient de Poisson
Sol type S2	150	0.35
Sol type S3	200	0.35
Sol type S4 et remblai tout-venant.	250	0.35
Grave naturelle	350	0.35
Grave artificielle	500	0.35

Table 1-6. Paramètres élastiques de matériaux d'emploi en terrains de fondation.

Pour les sols stabilisés in situ, on considérera les caractéristiques mécaniques définies ensuite.

Matériaux	E maximum (MPa)	Coefficient de Poisson
Sol stabilisé type S-EST1	100	0.35
Sol stabilisé type S-EST2	200	0.30
Sol stabilisé type S-EST3	1.000	0.25

Table 1-7. Paramètres élastiques dans le sol sélectionné.

Pour caractériser le module élastique des couches de sécurité, on inclut la recommandation suivante:

- En déblais, on considérera que l'appui est constitué directement par les sols du TNS, qui sera caractérisé grâce à un massif élastique semi-infini. Le cas échéant, on fera les possibles assainissements et remplacement de terrain.
- En remblais de moins de 2 m de hauteur, on considérera l'ensemble défini par le remblai, son assainissement et le massif élastique semi-infini du TNS.
- En remblais de plus de 2 m de hauteur, on considérera les caractéristiques du noyau de remblais.

Le module E du terrain de fondation sera l'EV2 obtenu dans l'essai de la plaque de chargement.

7c. CIRCULATION DE PROJET

On considérera les catégories suivantes concernant la circulation de projet, habituels dans tout instruction:

Catégorie	IMDPA
T00	≥ 4.000
T0	$\geq 2.000 \text{ y} < 4.000$
T1	$\geq 800 \text{ y} < 2.000$
T2	$\geq 200 \text{ y} < 800$
T3A	$100 \text{ y} < 200$
T3B	$\geq 50 \text{ y} < 100$
T4A	$\geq 25 \text{ y} < 50$
T4B	< 25

Table 1-8. Catégories de circulation.

Le nombre de répétitions de charges prévues pendant la vie utile est obtenu avec l'expression simplifiée, (Crespo et al, 1986):

$$NT = VP \times C \times A \times 365$$

NT = nombre de répétitions de charge standard pendant le temps de calcul.

VP = nombre quotidien de poids lourds dans la voie de projet l'année de mise en service.

C = facteur de croissance

A = facteur d'équivalence d'un poids lourd dans des essieux standard qu'on adoptera avec valeur 1.

Le facteur de croissance a été calculé avec l'expression suivante (Crespo et al., 1986)

$$C = [(1+r)^n - 1] / r$$

où:

C = Facteur de croissance

n = nombre d'années

r = taux de croissance annuel prévu

It is highly important that the engineer calculator arranges the pavement materials for the maximum level of traffic to be supported in the lifetime of the project. In particular, for important traffic growth, the traffic category will get increased in one or even two steps..

La circulation annuelle dans l'année horizon est donnée par la formule :

$$NT_n = VP \times (1+r)^n \times 365$$

La circulation moyenne sera NT_n . On établie une valeur maximale de 5000 poids lourds par voie et jour.

7d. MATÉRIAUX CONSTITUANT DES PIÈCES

On respectera les spécifications données dans ce guide.

7e. GRAVE OU COUCHES GRANULAIRES

Il s'agit de la couche d'appui des pièces de pavé démontable à placer sur le terrain de fondation. Le module de déformation sera supérieur à 500 MPa. Les graves seront de type artificiel et respecteront la normative de application selon le lieu de construction; quand on emploie de gravillon, macadam ou autre matériel similaire, on devra définir l'union avec le terrain de fondation en employant géotextile, matériel filtre, etc. En tout cas, dans le lot granulaire, au moins les 2 cm supérieurs qui sont en contact avec le pavé devront être fait par des sables contenant ne plus que 3% d'argile et de limons.

7f. MODÈLE DE CALCUL

Pour modéliser le comportement du revêtement, l'adhérence entre les couches de sol est considérée complète. Le contact entre les pièces de pavé démontable et le sol et entre elles mêmes a été modélisé en employant techniques de contact entre solides.

Les caractéristiques du modèle sont:

- Les couches de sécurité sont formées par des couches horizontales, parallèles et d'épaisseurs constantes.
- Chaque couche est un milieu linéaire, homogène, isotrope et continu. Elles se caractérisent mécaniquement par leur module de Young (E) et leur coefficient de Poisson (ν).
- Il y a un appui perpétuel entre les couches de terrain en existant de l'adhérence entre elles. Cette adhérence est caractérisée par la rugosité superficielle des couches, fonction du coefficient de frottement interne.
- Les forces d'inertie et les effets thermiques sont méprisables. On ne tient pas compte des sollicitations thermiques.
- Les efforts de cisaillement sont méprisables pour le contact roue-pavé.
- On ne considère pas le propre poids du pavement.
- Pour tous les matériaux constituant le pavé, on supposera un comportement élastique linéaire. Par conséquent, pour définir la relation tension-déformation du matériel, on ne requiert que deux paramètres :
 - Module de Young (E)
 - Module de Poisson (ν).

7g. LOIS DE COMPORTEMENT STRUCTURAL

Pour le dimensionnement, on considère deux types de charge:

- Charge correspondante à un essieu de 20 T et une trace de roue de 60x20 cm.
- Charge correspondante à un essieu de 13 T et une roue de 60x20 cm.

Il convient de signaler que la plupart des normes calculent les sections de revêtement pour des essieux de 13 T mais, pour structures, elles considèrent la voiture de 60 T avec 20 T chaque essieu.

In our case, the dimensioning of the pieces to be treated both in flexotraction resistance and tangential stress tests is made with loads of 20T, sharing the traditional criteria for structures. But, strength tests on concrete and soil layers are made with loads of 13T.

Dans notre cas, le dimensionnement des pièces à traction-flexion et à tension tangentielle maximale est fait avec des charges de 20 T, en partageant les critères traditionnels de structures. Cependant, les études de résistance du béton et des couches de sol sont faites pour des charges de 13 T.

On a élaboré le calcul de traction-flexion maximale et la tension tangentielle maximale avec une charge de 13 T seulement pour les solutions in situ dont l'ouverture à la circulation est après sept jours.

Pour chaque pièce et pour chaque type de section de revêtement, on a obtenu des lois de traction-flexion maximale et de tension tangentielle maximale selon les paramètres E, le module de déformation du terrain de fondation et de l'épaisseur du grave. On a toujours considéré un module de 500 MPa pour des couches granulaires.

7h. CRITÈRES DE DÉFAILLANCE ET DIMENSIONNEMENT STRUCTURAUX

TRACTION-FLEXION MAXIMALE

Le dosage défini autant pour les pièces préfabriquées que pour les pièces in situ permet d'obtenir coefficients de sécurité supérieurs à 1.5 pour les solutions de revêtement décrits ici.

La formule considère l'ouverture à la circulation après 7 jours. Il n'est pas recommandé donc de l'ouvrier auparavant sauf critère exprès de la direction d'œuvres. Dans ce cas là, on devra justifier qu'on a atteint le 75% de la résistance caractéristique du béton. Le contrôle prévu variera de intense à normal selon ce qui est établie par le projet ou la direction d'œuvre.

La vérification des solutions in situ pour l'ouverture de la circulation après sept jours est faite pour la charge de 13 T et, comme on a indiqué antérieurement, pour un 76% de la résistance caractéristique du béton.

RUPTURE PAR TENSION TANGENTIELLE MAXIMALE

De la même façon, on a obtenu des coefficients de sécurité du 1.5 par rapport à la résistance à tension tangentielle maximale pour les sections proposées autant de solutions préfabriquées que des solutions in situ.

Comme dans le cas précédent, la vérification des solutions in situ pour l'ouverture de la circulation après sept jours est faite pour la charge de 13 T et, comme on a indiqué antérieurement, pour un 76% de la résistance caractéristique du béton.

DÉFAILLANCE PAR FISSURATION DÛE À LA FATIGUE

Autant pour la solution préfabriquée que pour la solution in situ, la résistance caractéristique du béton devra respecter le 100% des essais:

$$f_{ck} > \sigma_{ct, \text{Max } 13T} / [0.165 (1-0.065 \log N)]$$

où f_{ck} c'est la résistance caractéristique du béton, $\sigma_{ct, \text{Max } 13T}$ la tension à traction-flexion maximale espérée pour la pièce d'après la section de revêtement désignée pour une charge de 13 T et N le nombre de répétitions de la charge.

Pour les matériaux ci-dessus et pour tous les formats, on augure des vies utiles supérieures à cinquante ans avec une circulation de poids lourds jusqu'à deux mille véhicules par voie et jour.

DÉFAILLANCE PAR FONDATION DE REVÊTEMENT.

On considère que la déformation unitaire verticale dans la face supérieure de la fondation est un paramètre critique. Cette valeur est donnée par le nombre de répétitions de charge prévu dans la vie utile du projet selon l'expression suivante:

$$\varepsilon_z = 0.0216 N^{-0.28}$$

Pour chaque type de pièce, on a constaté la nécessité de terrain de fondation selon la vie utile et la circulation de projet.

Quand la projection d'un terrain de fondation type E3 ne suffit pas, on projet les suivantes mesures additionnelles:

- 50 cm sur le terrain de fondation E3 de sol sélectionne S4, ($E_v > 250$ MPa).
- 40 cm additionnels de grave artificielle ($E_v > 500$ MPa).

Dans ce guide-ci, on propose des solutions concrètes pour chaque terrain de fondation, pour chaque vie utile et circulation de projet.

DÉFAILLANCE AUX COUCHES GRANULAIRES

La tension verticale sur la couche granulaire devra être toujours inférieure à 3 kg/cm^2 .

SECTIONS DE REVÊTEMENT PROPOSÉES. CALCUL.

Le processus proposé est le suivant:

1. on définit le **type de terrain de fondation** où on placera les pavés.
2. on sélectionne le **format**: in situ ou préfabriqué
3. on définit la **vie utile, le type de circulation et son croisement**
4. on sélectionne la **section type de revêtement** selon les critères proposés antérieurement dans le tableau contentant chaque typologie.
5. pour rassembler les données de vie utile, circulation de projet y croisement de la circulation, on détermine les **requêtes de la couche de sécurité conformément au critère de fatigue**. Pour chaque niveau de circulation, on déterminera la tension tangentielle maximale

admissible dans la couche de sécurité selon le tableau ci-joint. Au cas où la valeur du terrain de fondation nécessaire soit plus exigeante, on devra redimensionner la section de revêtement en commençant par le premier pas et en sélectionnant un niveau supérieur du terrain de fondation.

SECTION DE REVÊTEMENT PAR TERRAIN DE FONDATION ET FORMAT.

Pavés préfabriqués. RECT 33,3x33,3 y HEXAGONAL 20 DE CÔTÉ

Terrain de fondation	Épaisseur de grave (cm)	Partie supérieure du terrain de fondation	Nombre maximale d'applications de charges
E1	30		710.425
	40		1.458.907
	50		4.076.030
	50	50 cm S4	71.129.573
	50	50 cm ZA	103.061.343
E2	30		199.452
	40		594.601
	50		1.504.456
	50	50 cm S4	23.885.140
	50	50 cm ZA	29.371.379
E3	30		65.840
	40		192.983
	50		324.118
	50	50 cm S4	5.214.934
	50	50cm ZA	7.455.615

Table 1-9. Nombre maximal d'applications de charges selon terrain de fondation et couches granulaires pour solutions préfabriquées (hexagonal de 20 cm de côté et rectangulaire de 33,3 x 33,3 cm)

Pavés in situ: HEXATRIPÈDE 20 cm CÔTÉ

Terrain de fondation	Épaisseur de grave (cm)	Partie supérieure du terrain de fondation	Nombre maximale d'applications de charges
E1	30		290.971
	40		785.722
	50		2.584.302
	50	50 cm S4	23.873.653
	50	50 cm ZA	29.280.233

Terrain de fondation	Épaisseur de grave (cm)	Partie supérieure du terrain de fondation	Nombre maximale d'applications de charges
E2	30		107.351
	40		272.437
	50		874.203
	50	50 cm S4	7.068.594
	50	50 cm ZA	9.975.803
E3	30		40.280
	40		92.807
	50		317.183
	50	50 cm S4	2.032.558
	50	50cm ZA	3.229.832

Table 1-10. Nombre maximal d'applications de charges selon terrain de fondation et couches granulaires pour solutions in situ (hexagonal de 15 cm de côté)

Pavés in situ: RECTANGULAIRE 40 cm CÔTÉ

Terrain de fondation	Épaisseur de grave (cm)	Partie supérieure du terrain de fondation	Nombre maximale d'applications de charges
E1	30		408.609
	40		709.468
	50		1.573.421
	50	50 cm S4	7.610.603
	50	50 cm ZA	13.281.117
E2	30		141.025
	40		230.043
	50		537.383
	50	50 cm S4	1.531.733
	50	50 cm ZA	4.298.633
E3	30		44.313
	40		74.488
	50		182.447
	50	50 cm S4	363.395
	50	50cm ZA	1.456.770

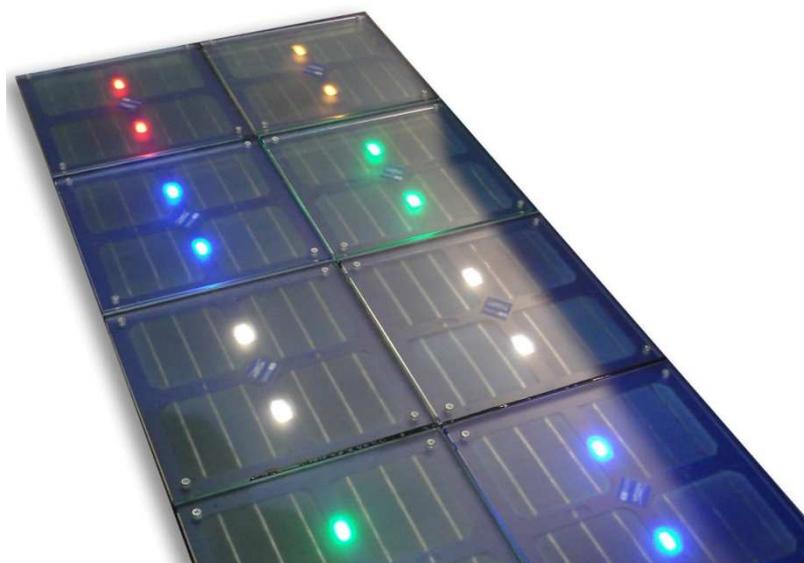
Table 1-11. Nombre maximal d'applications de charges selon terrain de fondation et couches granulaires pour solutions in situ (rectangulaire de 40 cm de côté).

COUCHES DE SÉCURITÉ SELON LE NIVEAU DE CIRCULATION

	TNS	Sol inadéquat et marginal			Sol Tolérable		Sol Adéquat		Sol Sélectionné
	Sol	Solution1	Solution2	Solution3	Solution 1	Solution 2	Solution 1	Solution 2	Solution 1
Catégorie du terrain de fondation	E1	100cm S1	35 cm S2 sur 50 cm S1	35 cm S2 sur 70 cm S0	60 cm S1	45 cm S2	100 cm TNS		
	E2	100 cm S2	40 cm S3 sur 60 cm S1	40 cm S3 sur 80 cm S0	75 cm S2	40 cm S2 sur 50 cm S1	55 cm S2	35 cm S3	100 cm TNS
	E3	100 cm S3	50 cm S3 sur 70 cm S2	80 cm S4	80 cm S3	70 cm S4	60 cm S3	50 cm S4	50 cm S3

Table 1-12. Solutions de terrain de fondation selon TNS

CHAP 2. LA DALLE SOLAIRE



CHAP 2.

LA DALLE SOLAIRE

PARTIE 1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE.

La dalle solaire est un saut qualitatif dans la conception traditionnelle de pavés puisqu'elle est capable d'apporter des qualités additionnelles à la rigidité du sol et à l'esthétique.

La possibilité d'intégrer des solutions productrices d'électricité permet d'entrevoir un éventail très large de possibilités parmi lesquelles on mentionne :

- éclairage depuis le sol pour signalisation.
- éclairage depuis le sol à des fins décoratives.
- solutions de production énergétique pour fournir l'éclairage public.
- distribution à d'autres éléments urbains comme des affiches ou des panneaux lumineux.
- distribution aux stations électriques pour véhicules électriques.
- distribution aux équipements de télécommunications comme wifi, Bluetooth, identification par radio fréquence (RDFI), etc.
- distribution pour consommation domestique.

Bien que l'emplacement d'un module solaire dans un pavé peut entraîner un rendement inférieur à celui d'autres emplacements par l'effet de l'horizontalité et de la salissure, on doit considérer que la proximité au point de distribution, l'autonomie du réseau et l'usage du pavé comme base d'appui sont des avantages qui font de la dalle solaire un élément utile, viable et indispensable pour une conception moderne du milieu urbain.

La dalle solaire est un événement marquant dans la nouvelle conception de ville moderne puisqu'elle fournit des nouveaux services d'un degré inconcevable jusqu'ici et très utiles au citoyen dans sa vie courante.

La conception de pavés intelligents basés sur le concept "Pavé Intelligent Pervasif de Réalité Augmentée" (PIPER) permettra des applications orientées à faire la vie du citoyen plus confortable, dès qu'elles comporteront des systèmes pervasifs viables grâce à l'emploi de Smartphones, tablettes ou d'autres dispositifs.

Les applications de mobilité, marketing "utile" et interactif ou *pervasive social networking* seront donc possibles grâce à l'installation de dalles solaires dans des milieux urbains.

Ce qui fait de la dalle solaire un élément très intéressant pour la placer dans des milieux urbains est qu'elles sont fabriquées avec des matériaux aptes pour son incorporation au pavé, avec résistance aux poids lourds et avec un caractère glissant apte pour les piétons.

PARTIE 2. GÉOMÉTRIES ET FORMATS.

Les dalles solaires sont désignées avec des caractéristiques appropriées pour leur emplacement dans le pavé.

Leur rigidité, le caractère glissant du protecteur superficiel et leur transparence sont des qualités essentielles pour garantir le bon fonctionnement des dalles solaires.

Les formats à commercialiser sont :

BS-PFV-SQ400

Dalle solaire productrice d'énergie solaire photovoltaïque 40x40 cm avec rétro éclairage



Image réelle

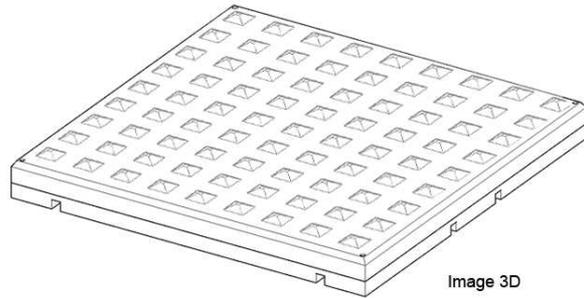
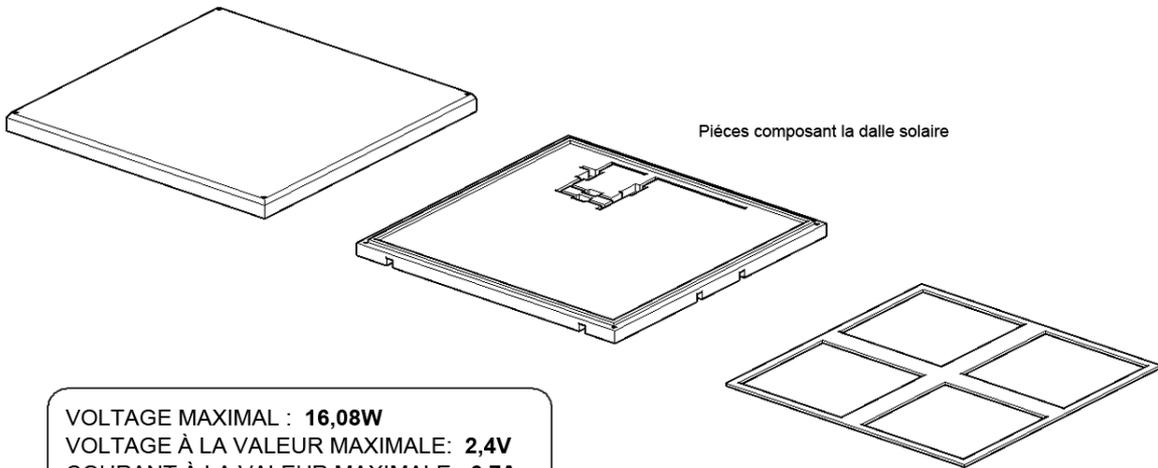


Image 3D

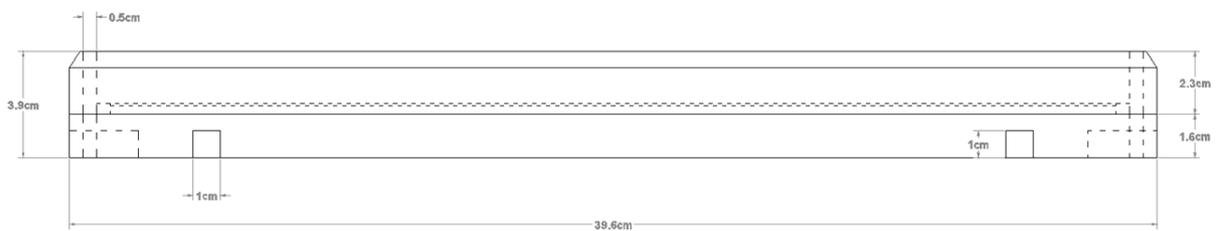


Pièces composant la dalle solaire

VOLTAGE MAXIMAL : **16,08W**
VOLTAGE À LA VALEUR MAXIMALE: **2,4V**
COURANT À LA VALEUR MAXIMALE: **6,7A**

DIMENSIONS: **396 x 396 X 30 mm.**
CÂBLE SOLAIRE: **4mm² IP67**

MATÉRIEL: **PMMA INJECTÉ**

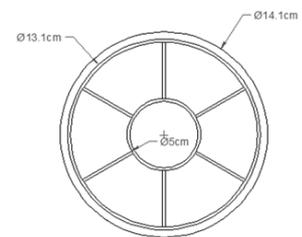
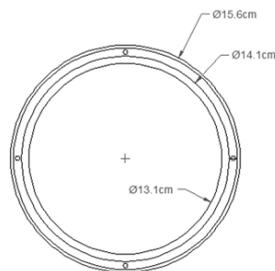
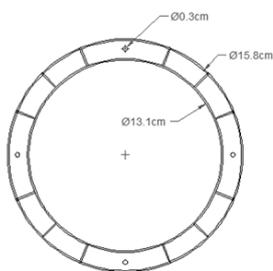
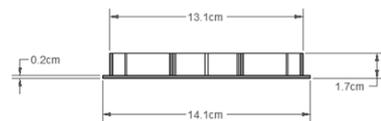
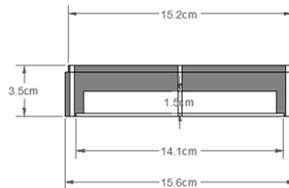
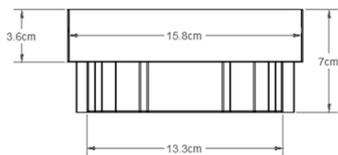
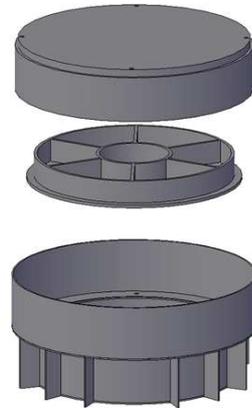


Détail section

Image 24. Géométrie de la dalle solaire BS-PFV-SQ400.

BS-PFV-C160

Dalle solaire productrice d'énergie solaire photovoltaïque en voies



VOLTAGE MAXIMAL : **1,2W**
VOLTAGE À LA VALEUR MAXIMALE: **6V**
COURANT À LA VALEUR MAXIMALE: **200mA**

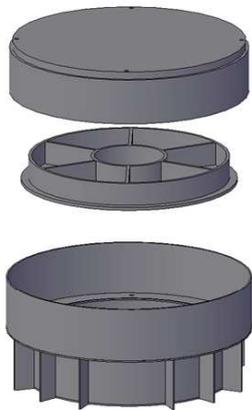
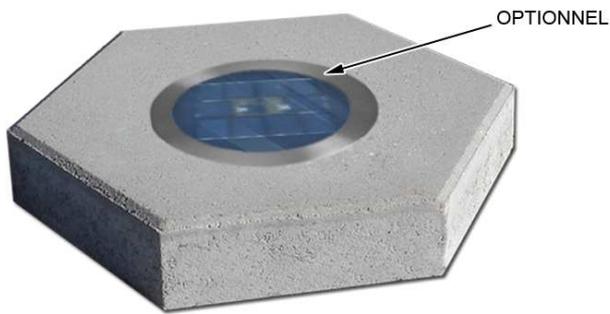
DIMENSIONS: **CIRCULAIRE 160 x 70mm.**
CABLE SOLAR: **4mm² IP67**

MATÉRIEL: **PMMA INJECTÉ**

Image 25. Géométrie de la dalle solaire BS-PFV-C160.

BS-DS-C160

Dalle solaire décorative pour signalisation



VOLTAGE MAXIMAL : **1,2W**
VOLTAGE À LA VALEUR MAXIMALE: **6V**
COURANT À LA VALEUR MAXIMALE: **200mA**

DIMENSIONS CIRCULAIRE: **160 x 70 mm.**
FONCTIONNEMENT: **AUTONOME**

MATÉRIEL: **PMMA INJECTÉ**
2 LED BLANC, 28-4.0V, 20mA, 18500 mcd

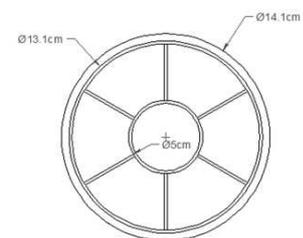
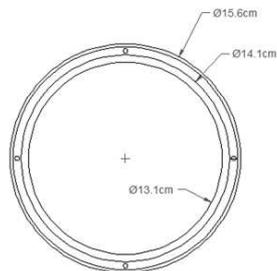
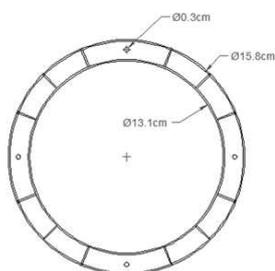
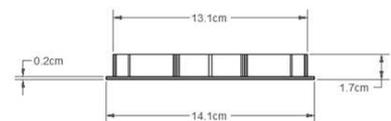
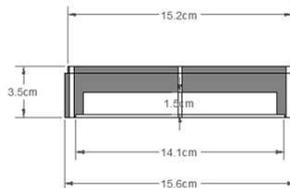
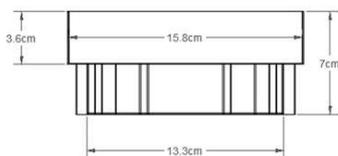
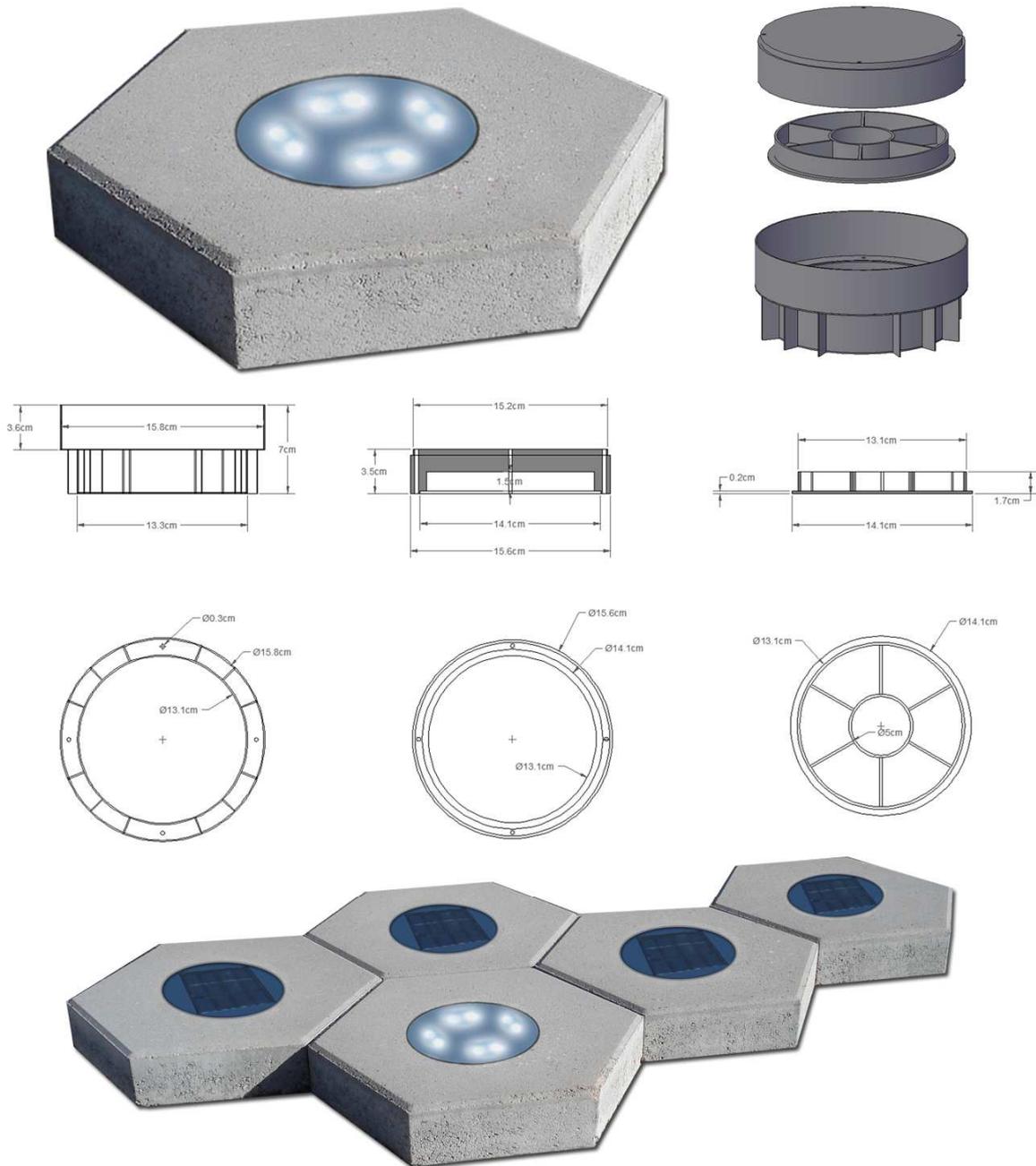


Image 26. Géométrie de la dalle solaire BS-DS-C160.

BS-DST-C160

Dalle solaire productrice d'éclairage pour les voies depuis le sol ou depuis dispositifs PIPER

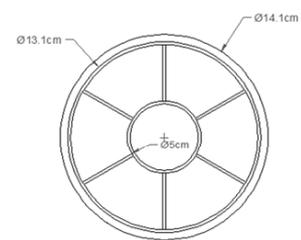
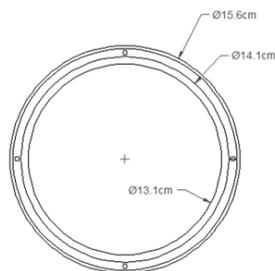
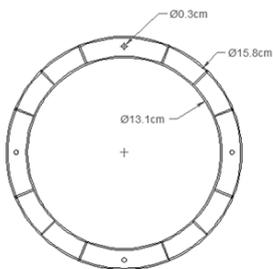
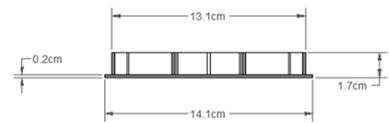
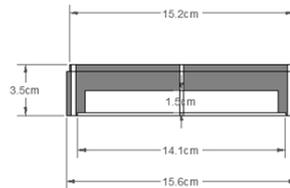
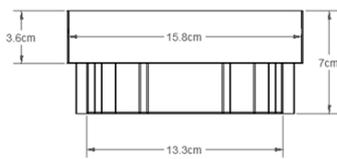
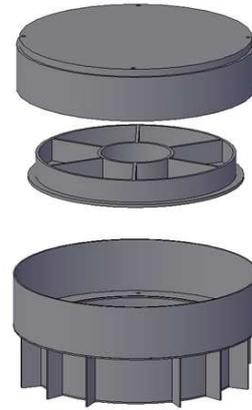
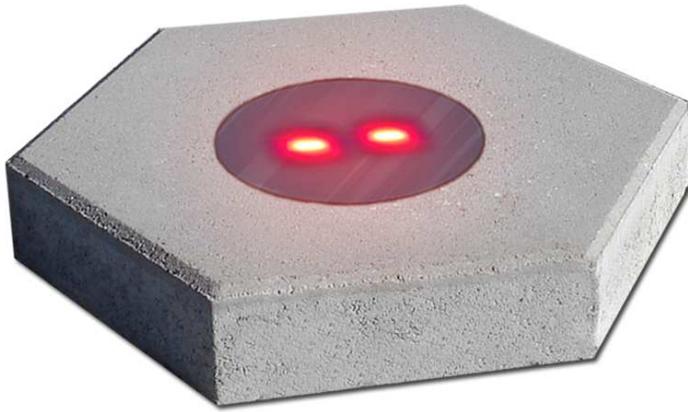


VOLTAGE MAXIMALE : SELON SÉRIE DE DALLES ANNEXES
DIMENSIONS: CIRCULAIRE 160 x 70mm.
FONCTIONNEMENT: SOURCE D'ÉNERGIE DES DALLES ANNEXES
4x4 LED 2.8-4.0V 20mA 18500 mcd. (OPTIONNEL CIRCUITS WIFI)
MATÉRIEL: MÉTHACRYLATE INJECTÉ

Image 27. Géométrie de la dalle solaire BS-DST-C160

BS-S-C160

Dalle solaire pour signalisation en voies



VOLTAGE MAXIMAL : **0,8W**
VOLTAGE À LA VALEUR MAXIMALE: **5V**
COURANT À LA VALEUR MAXIMALE: **160mA**

DIMENSIONS: **CIRCULAIRE 160 x 70mm.**
FONCTIONNEMENT: **AUTONOME**

2 LED ROUGE 1.8-2.4V 20mA 7000 mcd.
MATÉRIEL: **PMMA INJECTÉ**

Image 28. Géométrie de la dalle solaire BS-S-C160.

On décrit les caractéristiques géométriques de chaque dalle solaire ci-dessous.

2A. Dalle solaire productrice d'énergie solaire photovoltaïque 40x40 cm avec rétro éclairage.

Code.: BS-PFV-SQ400

Production

Voltage maximal : 16,08 W.

Voltage à la valeur maximale : 2,4 V.

Courant à la valeur maximale : 6,7 Ampères.

Nombre et type de cellules : quatre cellules monocristallines

Température de service : -30° C à 80° C.

Efficacité du module : 18%.

Dimensions : 396x396x26 mm.

Capsule et protecteur.

TYPE **1a y 1b.**

Illumination, (optionnel)

LED de rétro éclairage, (optionnel) : 12 V, 20 mA, 14 lumens, 32x13 mm. (RVB optionnel).

Circuiterie

3 diodes 3 ampères de *by-pass*. Ces diodes permettent le pas ou *by-pass* de celles dalles qui sont placées dans des zones d'ombres ou dans l'obscurité puisque, bien que les dalles ci-dessus ne pourront pas produire tension, elles seront idéées comme circuit ouvert, ce qui provoquerait que la tension des autres dalles pourrait charger la batterie.

Câble solaire 4 mm² avec connecteur femelle à sortie négative et connecteur mâle à positive IP67. Bus barre de 1,5 et 4 mm.

Accessoires.

Kit de montage 2x8 dalles. Code du produit : BS-SERIES1-400.

Kit de montage 1x3 dalles. Code du produit : BS-SERIES2-400.

Kit de montage 1x8 dalles. Code du produit: BS-SERIES3-400.

Modèle de refonte 2x8 dalles. Code du produit: BS-PLSERIES1-400.

Modèle de refonte 1x3 dalles. Code du produit: BS-PLSERIES2-400.

Modèle de refonte 1x8 dalles. Code du produit: BS-PLSERIES3-400.

Circuit LED de rétro éclairage : Code du produit: BS-Control-RI

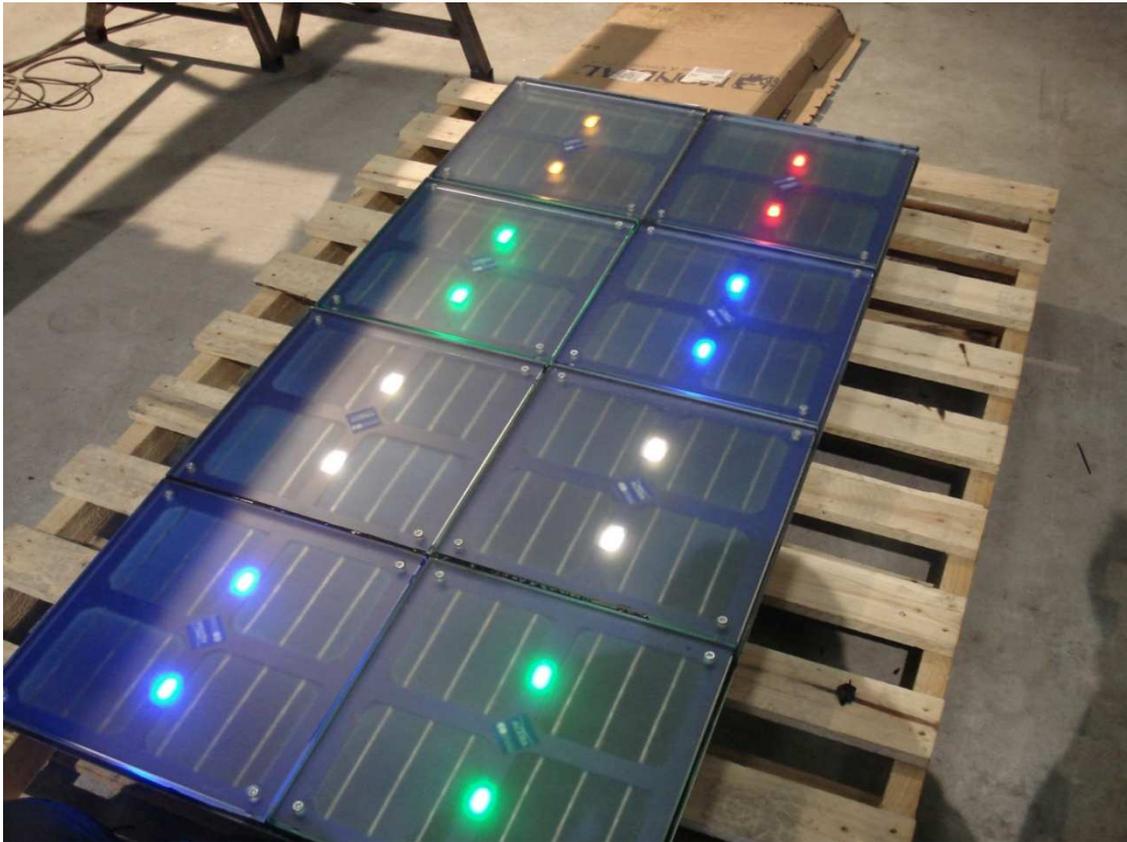


Image 29. Vue d'ensemble de 2x8 dalles

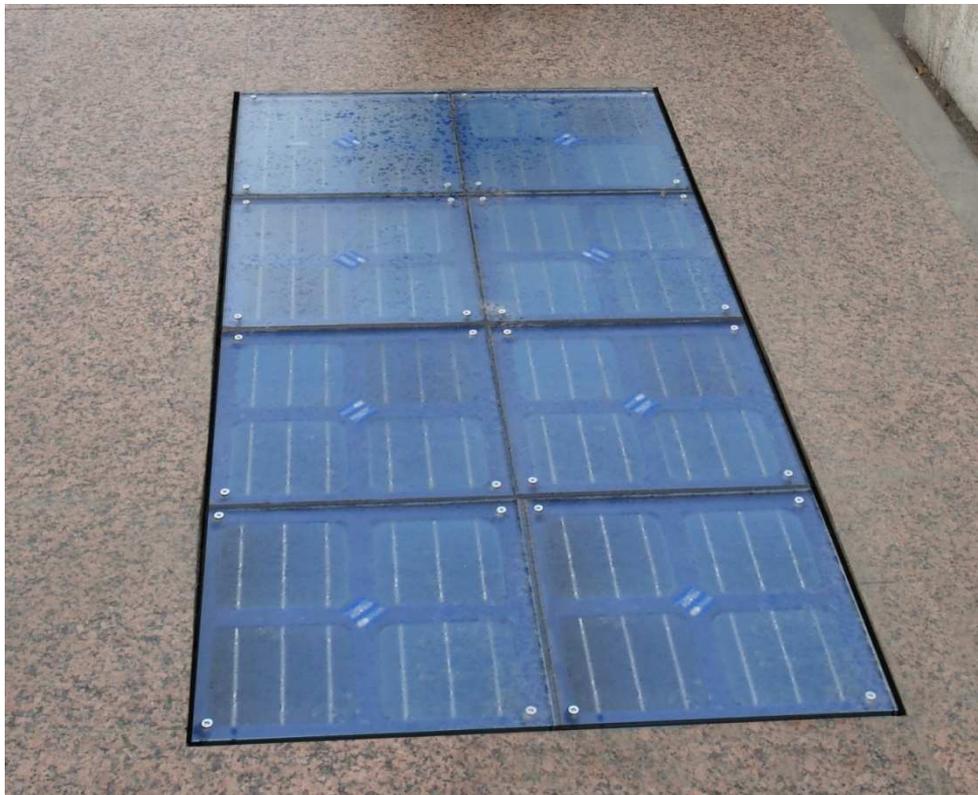


Image 30. Groupe de dalles arrangées sur trottoir.

2B. Dalle solaire productrice d'énergie solaire photovoltaïque en voies.

Code du produit: BS-PFV-C160

Production

Voltage maximal: 1,20 W.

Voltage à la valeur maximale : 6 V.

Courant à la valeur maximale : 200 mA.

Type de cellules: cellule monocristalline,

Température de service : -30° C a 80° C.

Efficacité du module : 18%.

Capsule et protecteur

TYPE 2

2C. Dalle solaire décorative pour signalisation

Code du produit: BS-DS-C160

Production

Voltage maximal des cellules : 1,2 W.

Voltage à la valeur maximale des cellules : 6 V

Courant à la valeur maximale des cellules : 200 mA.

Type de cellules : cellules monocristallines.

Capsule et protecteur

TYPE 2 ou TYPE 3.

Éclairage

Type de LED : 2 LED lumière blanche, 2.8 - 4.0 V, 20 mA, 18500 mcd.

Batterie

Batterie : 3,6 V, 2.400 mA.

Circuiterie

Circuit commandé par microcontrôleur avec fonction crépusculaire et contrôle de premier allumage (100x90 mm).

2D. Dalle solaire productrice d'éclairage pour les voies depuis le sol ou/et depuis dispositifs PIPER.

Code du produit: BS-DST-C160.

Production

3 dalles solaires en série code BS-PFV-SQ400 ou plusieurs du type BS-PFV-C160.

Éclairage

Type de LED : 16 LED (4x4) lumière blanche, 2.8 - 4.0 V, 20 mA, 18500 mcd. (Optionnel pour dispositifs PIPER).

Capsule et protecteur

TYPE 2 ou TYPE 3.

Batterie

Batterie : 4x3,6 V, 2.400 mA.

Circuiterie

4 circuits avec 4 LED chacun et microcontrôleur avec fonction crépusculaire et contrôle de premier allumage : (45x40 mm).

Dispositifs PIPER

Circuit transceiver 2.4 Ghz 802.11 Wifi Sensor Networking, 200 mA, 10mW amplificateur RF. Puce d'antenne. 25x30 mm. Rayon de transmission 250 mètres.

(Circuit dispositif Zigbee et Bluetooth optionnel).

2E. Dalle solaire pour signalisation en voies.

Code du produit: BS-S-C160.

Production

Voltage maximal des cellules : 0,8 W.

Voltage à la valeur maximale des cellules : 5 V

Courant à la valeur maximale des cellules : 160 mA.

Nombre et type de cellules : cellules monocristallines

Capsule et protecteur

TYPE 2 ou TYPE 3.

Éclairage

Type de LED : 2 LED lumière rouge, 1.8 - 2.4 V, 20 mA, 7000 mcd.

Batterie

Batterie : 2,4 V, 2.400 mA.

Circuiterie

Circuit commandé par microcontrôleur avec fonction crépusculaire, fonction d'intermittence et contrôle de premier allumage (60x35 mm).

2F. CARACTÉRISTIQUES COMMUNES

Résistance aux poids lourds: 8,3 kg/cm² de charge. (10 T par essieu).

Caractère glissant en classe 3.

Autonomie en hiver: toute la nuit en fonctionnement.

Recommandations pour insolation:

- dispositifs de lumière fixe placés sur la voie au moins 4 heures avec lumière directe;
- dispositifs de lumière intermittente 3 heures.

MODE DE FONCTIONNEMENT DES CIRCUITS

Le circuit a 3 modes de fonctionnement:

Mode veille, Mode jour et Mode nuit.

MODE VEILLE: c'est le mode de fabrication et, une fois installée la dalle solaire, elle ne revient jamais à ce mode. Pour ce mode, la consommation est 0,001 mA.

Pour la première mise en service du dispositif, et après l'avoir branché, le dispositif émettra trois éclats simultanés pour vérifier le bon fonctionnement du circuit. Ensuite, il deviendra mode veille, ce qui réduira la consommation à 0,001 mA. Considérée la capacité des batteries (2400 mA), le temps théorique de vie est supérieur à 200 ans.

Dû à la faible consommation du circuit en mode veille, on s'est passé de placer un interrupteur marche/arrêt, puisque le circuit, après le montage et jusqu'à il est placé dans le lieu de la construction, restera emballé dans le noir et il devra être déballé seulement quand il va être placé dans le lieu de la construction. Pour faire fonctionner le dispositif c'est nécessaire de détecter la luminosité suffisante pendant un temps continu d'à peu près 5 minutes. Ensuite, le dispositif indiquera l'abandon du mode veille avec 5 intermittences alternativement l'un et l'autre LED.

MODE JOUR: Pour éviter des fluctuations du circuit entre si c'est le jour ou la nuit (à la tombée du soir ou de la nuit), le microcontrôleur compare la tension livrée par les cellules solaires de façon que, pendant le jour, quand la tension des cellules est inférieure à 0,12 V, la cellule interprète que c'est la nuit et elle passe au mode nuit. Pendant la nuit, pour passer au jour, la tension de cellules solaires devra être supérieure à 0,22 V. En plus de l'hystérésis créée, on a introduit dans le microcontrôleur la condition suivante: avant de changer le mode, il doit vérifier cette condition 5 fois consécutives pendant un minute à peu près. Ainsi, on évitera des instabilités provoquées par les nuages ou les personnes qui jettent d'ombres sporadiques.

MODE NUIT: On programme les LED intermittents pour un période d'allumage de 50 ms et un période d'arrêt de 450 ms, avec une consommation moyenne de 4 mA par heure.

Bien qu'on a les LED allumés seulement 1/10 du temps, on aura la sensation de que le temps d'allumage est supérieur au temps réel utilisé dû à la persistance de la rétine de l'œil humain.

Pour les LED de lumière fixe c'est important de garantir que l'emplacement des dalles solaires permet une radiation directe au moins pendant cinq heures les jours ensoleillés.

2G. CAPSULE

TYPE 1.

On dispose des types 1a et 1b.

Capsule 1a: Protecteur de **PMMA 396x396x20 mm** avec caractère glissant en classe 3, 20 mm d'épaisseur, avec des rabats latéraux de couverture et des vis traversantes. Cardan de PMMA de 3 mm et base de 3 mm avec boîte de diodes et connections.

Capsule 1b: Protecteur de verre 396x396x20 mm feuilleté 10+10 mm avec double film EVA intermédiaire, avec traitement à l'acide, avec caractère glissant en classe 3 et verre inférieur extra-clair et des vis traversantes. Cardan de PMMA de 3 mm et base de 3 mm avec boîte de diodes et connections.

TYPE 2.

Protecteur de PMMA avec caractère glissant circulaire diamètre 158 mm en classe 3, 18 mm d'épaisseur, avec des vis traversantes et des bords préparés pour scellage à polyuréthane. Base de la capsule du circuit fait en PMMA de 2 mm et base circulaire d'aluminium injecté d'épaisseur 2 mm.

TYPE 3.

Protecteur de PMMA avec caractère glissant circulaire diamètre 158 mm en classe 3, 10 mm d'épaisseur, avec des vis traversantes et des bords préparés pour scellage à polyuréthane. Base de la capsule du circuit fait en PMMA de 2 mm et base circulaire d'aluminium injecté d'épaisseur 2 mm.

PARTIE 3. MATÉRIAUX.

Les caractéristiques exigées aux matériaux à composer les capsules de la dalle solaire sont comme suit:

3A. PMMA, (Méthacrylate)

Caractéristiques mécaniques

- Densité DIN53479 : 1.19 g/cm³
- Résistance au choc Charpy ISO179 : 15 1/D kJ/m²
- Résistance au choc sur barreau entaillé (Izod) ISO 180 : 1.6 1/A kJ/m²
- Résistance à la traction (-40 °C) DIN53455 : 100 MPa
- Résistance à la traction (+23 °C) DIN53455 : 72 MPa
- Résistance à la traction (+70 °C) DIN53455 : 35 MPa
- Allongement à la rupture DIN53455 : 4.5 %
- Résistance à la flexion, éprouvette standard (80x10x4mm) DIN53452 : 105 MPa
- Tension par compression DIN53454 : 103 MPa
- Tension de sécurité maximale (jusqu'à +40 °C) : 5 à 10 MPa
- Module d'élasticité E (court/long terme) DIN53457 : 3.300/3.200 MPa
- Module de torsion G à 10Hz DIN53445 : 1.700 MPa
- Résistance à la fatigue dans l'essai de pliage alternatif à peu près 10 cycles (éprouvette entaillée/non-entaillée) : 30/10 MPa
- Dureté Brinell H961/30 ISO 2039-1 : 190 MPa
- Résistance à l'abrasion avec 1.600 g d'abrasive similaire ASTM-D673 44 : 98%
- Coefficient de friction plastique sur plastique - 0.80
- Coefficient de friction plastique sur acier - 0.50
- Coefficient de friction acier sur plastique - 0.45

Propriétés optiques (caractéristiques)

- Éclairage standard D65 DIN 5036 92%
- Perte par réflexion dans le domaine visible (pour n'importe quelle surface) : 4%
- Transmission totale d'énergie (épaisseur. 3 mm.) DIN 67567 85%
- Spectre d'absorption dans le domaine visible (3 mm.) <0.05%
- Indice de réfraction DIN53491 - 1.491

Propriétés thermiques

- Coefficient de dilatation linéaire 0- 50°C DIN53752-A 1/K : 0.07 mm/m°C
- Conductivité thermique DIN52612 : 0.19 W/mK
- Coefficient de transmission thermique (1mm épaisseur) DIN 4701 : 5.8 W/m²K

- Coefficient de transmission thermique (3mm épaisseur) DIN 4701 : 5.6 W/m²K
- Coefficient de transmission thermique (5mm épaisseur) DIN 4701 : 5.3 W/m²K
- Coefficient de transmission thermique (10 mm épaisseur) DIN 4701 : 4.4 W/m²K
- Chaleur spécifique - 1.47 J/g K
- Température approx. de moulage (tempér. four) - 150...160 °C
- Température maximale de surface (radiateur IR) - 180 °C
- Température maximale permanente de service - 70 °C
- Température de re-contraction - >80 °C
- Température d'ignition DIN51794 : 430 °C
- Comportement au feu (épaisseur. >1.5 mm) DIN4102 - B2
- Indice VICAT (méthode B) DIN ISO 306 : 102 °C
- Stabilité dimensionnelle à chaud (Méthode Martens) DIN53458 : 85 °C
- Thermo-Résistance de forme ISO 75 tension par flexion 1.8 MPa DIN53458 : 90 °C
- Thermo-Résistance de forme ISO 75 tension par flexion 0.45 MPa DIN53461 : 95 °C

3B. Verre feuilleté

Caractéristiques mécaniques

Résistance à la compression > 10.000 kg / cm²

Résistance à la traction > 400 kg / cm²

Résistance à la flexion avec une charge momentanée > 170 Kg/cm²

Résistance à la flexion avec une charge permanente > 60 Kg/cm²

Densité 2,5 g / cm³, 2,5 kg / m² par mm d'épaisseur.

Dureté > 6,5 dans l'échelle de MOHS

Module de Young E= 7.2 10¹⁰ Pa, (720.000 Kg/cm²)

Coefficient de Poisson μ = 0,22.

Résistance à la corrosion : P2A, (feuilleté 10+10 mm)

Résistance au choc pendulaire. 1B1, (feuilleté 10+10 mm)

Résistance aux changements brusques de température : 40 K, (feuilleté 10+10 mm)

L'entreprise fournisseuse devra apporter une fiche avec les données antérieures en indiquant la méthode d'essai normalisé employé.

Caractéristiques lumineuses du feuilleté 10+10 mm avec une base extra-claire et 2 films EVA

Transmittance lumineuse : 81% Tvis

Réflectance lumineuse extérieure 7% Rvis1

Réflectance lumineuse intérieure 7% Rvis2

Transmittance ultraviolet <1% tUIV

Caractéristiques énergétiques du feuilleté 10+10 mm avec une base extra-claire et 2 films EVA

Transmittance solaire : 57% Tsol

Réflectance solaire extérieure 6% Rsol1

Réflectance solaire intérieure 6% Rsol2

Absorption solaire du verre 37%, (A)

Propriétés thermiques du feuilleté 10+10 mm avec une base extra-claire et 2 films EVA

Facteur solaire : 0,67 g (EN 410)

Coefficient de transmission thermique 5,1 w/m²K U (EN 673)

3C. Plaque d'emplacement et vis de fixation

Ils seront d'acier inoxydable AISI-304.

Mécaniques

Allongement (%)	< 60
Dureté Brinell	160-190
Choc Izod (J*m-1)	20-136
Module d'élasticité (MPa)	190-210
Résistance à la traction (MPa)	460-1100
Résistance à la corrosion	+ 504 heures sans variation (inoxydable)
Essai brouillard salin	+ 650 heures sans variation (inoxydable recouverte de titane)
UNE 112017:92	

Physiques

Densité	7,93 g*cm ³
---------	------------------------

Thermiques

Coefficient d'expansion thermique (10-6*K-1)	18
Conductivité thermique à 23°C	16,3

3D. Aluminium pour injections

Résistance à la traction	160Mpa (N/mm ²)
Limite d'élasticité	110 N/mm ²
Limite à rupture	150 N/mm ²
Résistance à cisaillement	117 MPa
Module élastique	69 N/mm ²
Résistance à la corrosion	Très bonne
Densité	2,7 g*cm ³
Résistance au feu	M0 selon UNE 23-727-90 Non combustible face à l'action thermique
Coefficient de dilatation linéaire	23,5 * 10-6 m/mK
Recyclable	Oui

PARTIE 4. CONTRÔLE DE QUALITÉ

Le contrôle de qualité comporte les aspects suivants:

- contrôle de matériaux et certificats.
- contrôle de montage en atelier.
- contrôle de montage dans le lieu de construction.

4A. Contrôle de matériaux

Chacun des unités des dalles solaires comprend un certificat de garantie des produits employés dans la fabrication expédié par chaque fabricant.

En plus, le contrôle de la réception des matériaux dans l'atelier est fait comme suit:

- Matériaux pour les capsules (verre et/ou méthacrylate, plaques d'acier inoxydable et vis) : série complète d'essais chaque 10.000,00 m², en incluant les essais mécaniques et physiques, les essais thermiques, lumineux et énergétiques. Cependant, les essais de transmissivité énergétique seront faits quand chaque lot de protecteur est reçu, que ce soit de méthacrylate ou verre.
- Cellules solaires : on implémente le système de contrôle CBC (Cell by cell, Cellule par cellule) et on vérifie donc les valeurs de voltage et intensité pour une lampe de 1000 w/m². Les cellules non conformes aux exigences sont retirées et renvoyées au fournisseur.

4B. Contrôle de montage en atelier

- Dalles solaires : on implémente le système de contrôle TBT (Tile by tile, Dalle par dalle) et on vérifie donc les valeurs de voltage et intensité espérés. De la même manière, on vérifie l'étanchéité de chaque dalle, une à une moyennant l'immersion partielle dans un seau.
- Circuits électroniques : on implémente le contrôle AEC (All electronic circuits, tous circuits électroniques) et tous les circuits électroniques sont vérifiés donc avant ils sont commercialisés, et on vérifie aussi les fonctions d'activation et de charge de la batterie.
- LED : on vérifie le fonctionnement de tous les LED une fois qu'ils ont été sériés.

4C. Contrôle de montage dans le lieu de construction

Une fois qu'il y a une série de dalles solaires placées dans le lieu de construction, pour celles qui produisent énergie, on vérifiera la tension de fourniture au régulateur.

Pour les dalles d'éclairage ou signalisation, on vérifiera l'activation du circuit une fois que le protecteur est éliminé au moyen des triples intermittences des LED.

Localisation de dalles sériées défectueuses

Si pendant la sériation des dalles, la tension de sortie n'est pas celle attendue, le processus pour localiser la dalle défectueuse consistera à mesurer avec un voltmètre la tension de la série de dalles un jour ensoleillé en couvrant séquentielle dalle à dalle et en vérifiant donc que quand une seule dalle est couverte, la tension descend 3,1 V à peu près (2,4 V de la propre dalle plus 0,7 V du passage par le diode). La dalle défectueuse sera celle qui ne provoque pas la diminution de la tension totale de la série.

PARTIE 5. CONSTRUCTION, MONTAGE, DÉMONTAGE ET MAINTENANCE.

Les phases de construction d'un sol photovoltaïque avec format BS-PFV-SQ400 sont comme suit:

- Exécution de la base d'appui de la dalle solaire (on recommande une épaisseur d'au moins 8 cm) avec protection du tube de conduction. Quand on emploi base de pavé démontable, le béton restera à cote avec le bord supérieur de la jointure de lien.
- Refonte de guides de 50 mm minimum de largeur et 40 mm minimum de profondeur; on utilisera le modèle de refonte compris dans le kit de montage. On ajustera la cote et le nivellement des dalles avec le pavé continu, en évitant dénivellations.
- Une fois que le mortier est sec, on fera un refont et on mettra les boulons de fixation.
- Installation des dalles solaires après avoir branché les câbles positifs et négatifs finaux. Quand il y a rétro éclairage, on branche avec le câble de LED. Refont et fixation de vis.
- Essai de fonctionnement.
- Enfin, scellage avec polyuréthane.

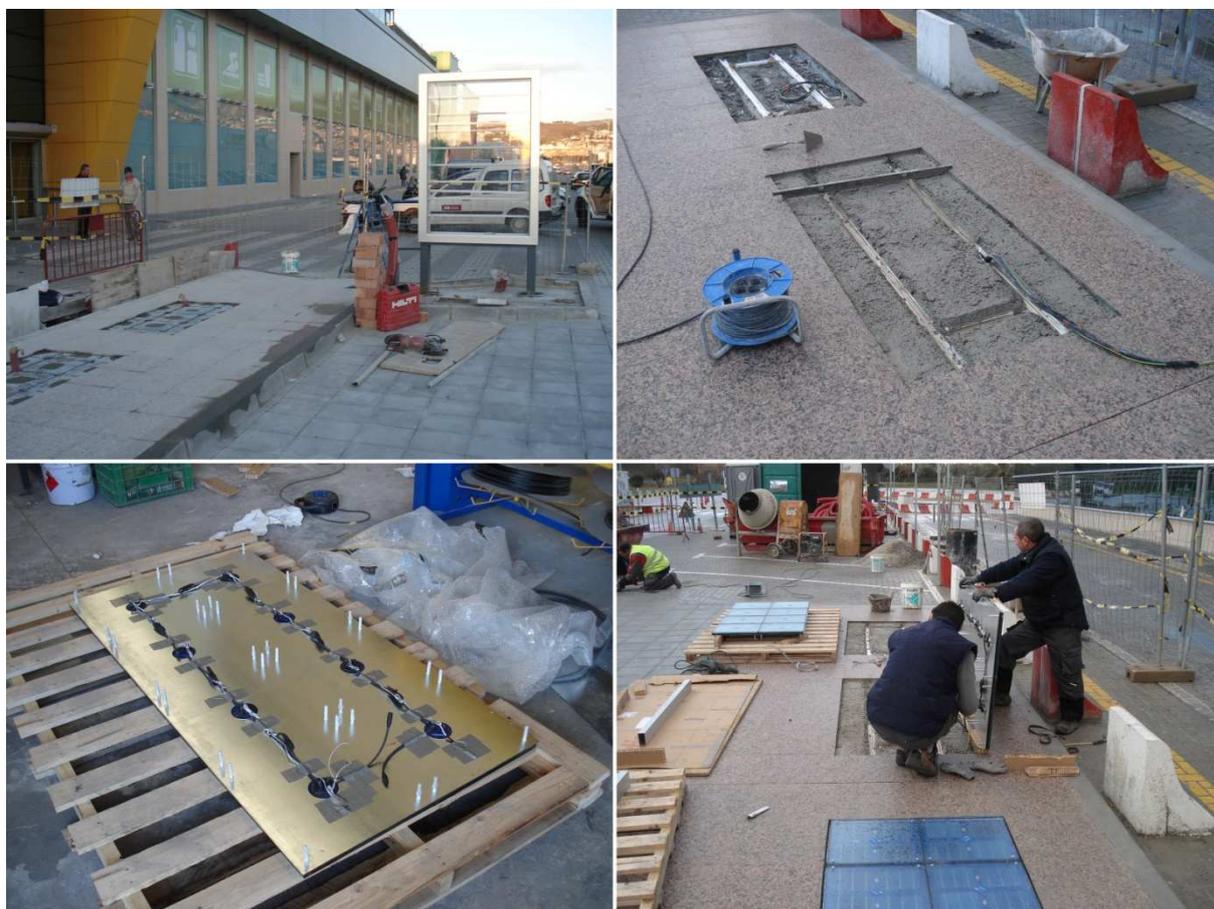


Image 31. Installation de dalles solaires

Le démontage de ces dalles pourra se faire une à une ou bien en démontant tous au même temps avec le retrait de tous les vis de fixation à la base. Une fois que la plaque est retirée, on devra assainir la bande de polyuréthane qui reste autant dans le pavé que dans le contour de l'ensemble de dalles sériées. Quand la dalle solaire soit remplacée, la bande de polyuréthane doit être rétablie.

Pour maintenir les dalles, on recommande ce qui suit:

- suivi du rendement au moins pendant le premier mois avec cinq mesures minimum des jours différents.
- suivi du rendement avec mesures une fois par an.
- nettoyage périodique des dalles, si possible, une fois chaque deux semaines et, au moins, une fois par mois. Pour le nettoyage, on recommande l'usage d'eau abondante et claire. Quand on emploi des détergents, on devra garantir sa compatibilité avec le matériel du protecteur. On pourra aussi employer de l'eau à pression pour éliminer incrustations.

Si on emploi la dalle de format BS-PFV-C160 pour pavé démontable, les phases sont les mêmes mais avec les différences suivantes:

- une fois que la jointure intermédiaire est mise, on perfore ses murs verticaux pour permettre que le câble solaire passe jusqu'à la dalle où la batterie à alimenter est placée.
- une fois que la pièce qui comprend la batterie et les dispositifs à alimenter ont été placés, on passe à placer chaque pièce de format BS-PFV-C160, bien qu'on doit les branchés avec le câble solaire. Ce branchement pourra se faire en série ou en parallèle selon la charge de la batterie à alimenter.

Pour les dalles avec rétro éclairage ou signalisation, les phases sont:

- pour tout pavé : emplacement de carcasse d'aluminium fourré dans le béton de base et, une fois que ce pavé est finis, emplacement de la dalle, vissage et scellage de la dalle.
- pour les pavés démontables : il suffira de placer la pièce de pavé démontable compris dans la dalle.

Pour maintenir ces dernières, il sera nécessaire de faire un suivi de l'allumage et de l'arrêt pendant le premier mois de mis en service. De la même façon, on recommande un nettoyage chaque deux semaines, étant admissible une fois par mois.

PARTIE 6. SOLUTIONS URBAINES

6.1 Recommandations générales pour les dalles de production énergétique

Avant d'élaborer le correspondant projet urbain avec des dalles solaires, le concepteur devra considérer les recommandations qui suivent:

- Le concepteur devra faire le calcul de rendements correspondant à la position sélectionnée en garantissant une rentabilité adéquate du module photovoltaïque :
- L'étude antérieure permettra au concepteur de sélectionner la meilleure situation possible en vue d'obtenir le meilleur rendement. Il peut établir des critères qui permettent sa meilleure intégration avec le reste du mobilier urbaine et le branchement adéquat avec les services où l'énergie sera fournie.
- Le concepteur va essayer de choisir situations sans ombres provoquées par d'autres éléments urbains ou, au moins, va essayer de les minimiser.
- Pour sa situation sur des trottoirs, on recommande une distance d'au moins 1,2 m à la bordure.

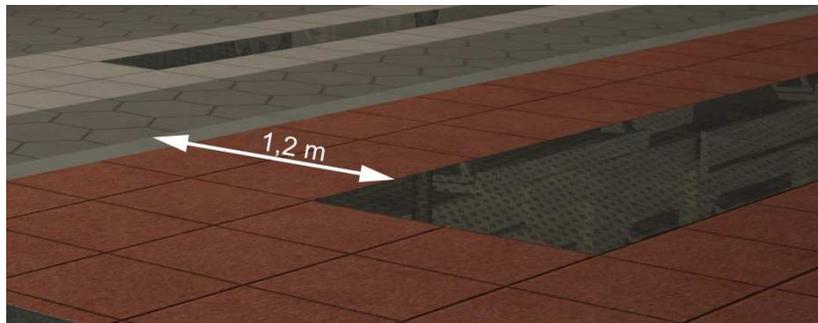


Image 32. Distance recommandée jusqu'à bord de trottoir.

- Si les dalles vont être situées sur des voies, on recommande de les placer où il n'y ait pas de véhicules arrêtés par conséquence de feux ou des embouteillages. En général, l'intensité par voie et jour sera inférieure à 1.000 véhicules.

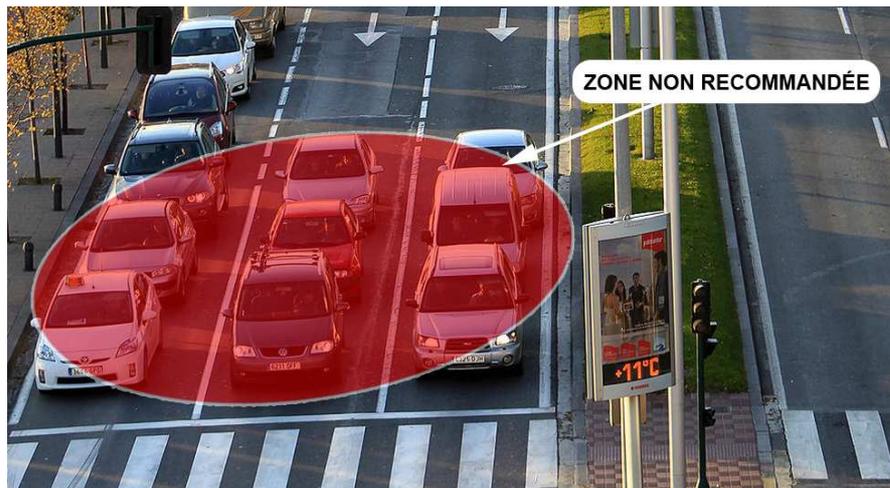


Image 33. Zone non recommandée en route.

- Pour les voies orientées Est-Ouest, on devra situer les dalles sur la moitié Nord ou Sud selon s'il s'agit de l'hémisphère nord ou sud, en menant l'énergie grâce aux conductions transversaux jusqu'aux points de distribution (feux, éclairage public, etc.).

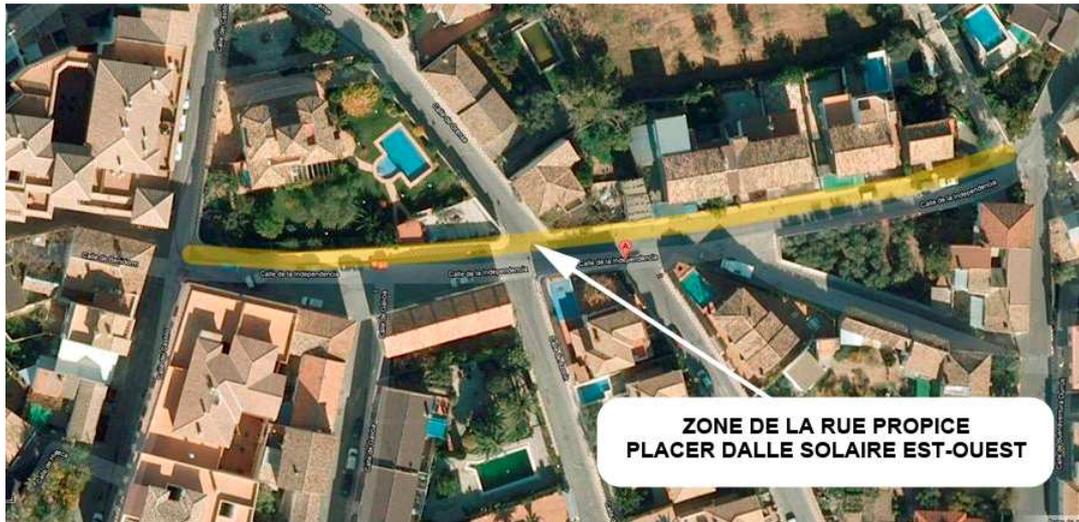


Image 34. Emplacement de dalles solaires dans rues orientées est-ouest.

6.2 Recommandations pour les dalles d'éclairage ou signalization

Pour ces dalles, on devra choisir une situation qui permet un minimum d'heures d'insolation directe:

- pour la dalle de signalisation intermittente, il suffira de trois heures d'insolation directe les jours ensoleillés.
- pour la dalle de signalisation fixe, il suffira au moins quatre heures, étant idéale de dépasser les cinq heures.

D'autre part, le concepteur devra analyser le niveau d'éclairage artificielle de la voie où les dalles seront placées, puisqu'on considère que au-dessus de 90 lux, le niveau d'éclairage est si haut qu'il ne permettra que les dalles perçoivent un bon éclairage, ce qui fera qu'elles perdent leur utilité. Il doit être noté que l'éclairage des voies est normalement entre 20 et 40 lux et seulement dans certains domaines les 50 lux sont dépassés.

PARTIE 7. LES PAVÉS INTELLIGENTES.

La guide PIPER qui sera bientôt disponible donnera des recommandations pour l'installation de dispositifs BS-DST-C160, selon les usages poursuivis:

- marketing interactif.
- fonction de mobilité.
- connectivité.

Ces recommandations visent à garantir le meilleur service aux utilisateurs moyennant la dispersion appropriée et la situation de dispositifs sur les voies urbaines.

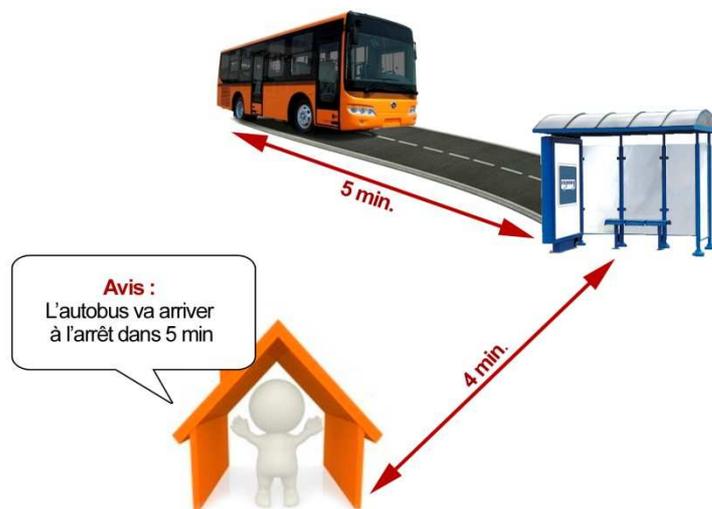


Image 35. Exemple d'applicabilité d'équipements PIPER

PARTIE 8. CALCUL DE RENDEMENTS.

La dalle solaire bénéficie d'un double usage (pavé et solution photovoltaïque) qu'impose quelques limitations dans la considération de dalle solaire comme module solaire photovoltaïque ; notamment:

- la situation du module doit être horizontale.
- l'exposition à l'environnement est supérieure et, à cet égard, la salissure et le vieillissement enlèveront rendement au module.
- quand on emploie des feuillets de verre avec un traitement superficiel pour le caractère glissant comme protecteurs, leur transmittance lumineuse diminuera.
- la dalle solaire vise à s'utiliser sur des voies où il n'y a pas beaucoup d'heures d'éclairage direct, ce qui obligera à établir des recommandations d'usage conformément à l'orientation de la rue, la hauteur des édifices de l'environnement, la largeur de la rue et sa position géographique.
- Ensuite on analyse les effets ci-dessous :

8.1. Effet de l'horizontalité de l'installation.

Ensuite on décrit la méthodologie complète qui va nous permettre d'obtenir le rendement de la dalle solaire n'importe quel jour de l'an dans n'importe quelle situation géographique:

Initialement, on calcule pour chaque jour de l'année (d_n) la déclinaison solaire (δ) l'angle de lever du soleil (ω_s), la distance du Soleil à la Terre ce jour-là (r) et le rayonnement journalier extraterrestre sur la surface horizontale ($B_{Od}(0)$).

En supposant que la Terre tourne autour du Soleil à une vitesse angulaire constante, on peut utiliser des formules simplifiées pour calculer les paramètres suivantes:

1.- Déclinaison solaire en radians (δ)

$$\delta = \frac{23.45 \cdot \pi}{180} \operatorname{sen} \left(2\pi \cdot \frac{d_n + 284}{365} \right)$$

2.- Facteur de correction de l'excentricité de l'orbite terrestre (ϵ_0):

Relation entre la distance du Soleil à la Terre d'un jour donné (r) et la valeur moyenne de cette distance sur l'ensemble de l'année (r_0):

$$\epsilon_0 = \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 = 1 + 0.033 \cdot \cos \left(2\pi \cdot \frac{d_n}{365} \right)$$

3.- Angle de lever du soleil en radians (ω_s):

$$\omega_s = -\cos^{-1} (-\operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \phi)$$

ϕ es la latitud.

4.- Rayonnement extraterrestre pendant un jour donné ($B_{Od}(0)$):

$$B_{Od}(0) = \frac{24}{\pi} B_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot (\cos \varnothing \cos \delta)(\omega_s \cos \omega_s - \text{sen } \omega_s)$$

Pour les formules ci-dessous d_n c'est le nombre d'ordre du jour dans un an (1 pour le premier janvier et 365 pour le 31 décembre), c'est la latitude du lieu en radians et B_0 c'est une constante solaire de valeur 1.367 W/m^2 .

5.- Radiation directe et diffuse sur une surface horizontale pendant un jour

Le « modèle de Hottel » (1976) exprime la transmittance atmosphérique pour la radiation directe, τ_b , en fonction de l'angle zénithal, Θ_{zs} (plus transmittance en direction verticale, moins en direction horizontale), de la hauteur sur le niveau de la mer, A, en kilomètres (plus transmittance à une hauteur plus grande) et la typologie climatique de cette manière:

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{(-k/\cos\Theta_{zs})}$$

où a_0 , a_1 et k sont les paramètres ajustés empiriquement. Pour calculer ces quantités, on utilise les équations:

$$a_0 = r_0 [0,4237 - 0,00821(6-A)^2]$$

$$a_1 = r_1 [0,5055 - 0,00595(6,5-A)^2]$$

$$K = r_k [0,2711 - 0,01858(2,5-A)^2]$$

Les valeurs de r_0 , r_1 et r_k sont données sur le tableau ci-joint, pour les différentes typologies climatiques. Pour calculer le rayonnement diffus, sur la surface horizontale, la transmittance correspondante est donnée par une formule de Liu et Jordan (1960):

$$\tau_d = 0,2710 - 0,2939 \tau_b$$

$$\cos \theta_{zs} = \sin \delta \sin \varnothing + \cos \delta \cos \varnothing \cos \omega$$

Typologie climatique	r_0	r_1	r_k
1. Tropical	0,95	0,98	1,02
2. Été, latitude moyenne	0,97	0,99	1,02
3. Été, subarctique	0,99	0,99	1,01
4. Hiver, latitude moyenne	1,03	1,01	1,00

Table 2-1. Valeurs de r_0 , r_1 et r_k selon climat.

Ainsi, les irradiances directe et diffuse un jour ensoleillé, sur un plan horizontal, au niveau de la terre (hauteur A) seront:

Radiation directe: $G_B(0)$

$$G_B(0) = \tau_b B_{od}(0) \cos \Theta_{zs}$$

Radiation diffuse: $G_D(0)$

$$G_D(0) = \tau_d B_{od}(0) \cos \Theta_{zs}$$

et le rayonnement total correspondant sans considérer celle de l'albédo sera donnée par:

$$G(0) = G_B(0) + G_D(0)$$

6.- L'irradiance directe sur tout plan.

L'irradiance directe sur tout plan est obtenue grâce à la formule suivante:

$$G_B(\alpha, \beta) = F_T(\theta_s) \frac{G_B(0)}{\cos \theta_{zs}} \max(0, \cos \theta_s)$$

Où θ_s c'est l'angle d'incidence des rayons solaires sur un plan incliné (formé par la normale à la surface et le vecteur radial Soleil-Terre dans ce point-là) et θ_{zs} c'est l'angle ou la distance zénithal du sol.

$$\cos \theta_s = \sin \delta \sin \varnothing \cos \beta - \sin \delta \cos \varnothing \sin \beta \cos \alpha + \cos \delta \cos \varnothing \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varnothing \sin \beta \cos \alpha \cos \omega + \cos \delta \sin \alpha \sin \beta \sin \omega$$

$$\cos \theta_{zs} = \sin \delta \sin \varnothing + \cos \delta \cos \varnothing \cos \omega$$

Où α c'est l'azimut du plan incliné et β c'est l'angle d'inclinaison par rapport à l'horizontale.

Quand α et β sont 0, alors:

$$\cos \Theta_{zs} = \cos \Theta_s$$

$F_T(s)$ c'est un facteur de transmittance qui quantifie la réduction de l'irradiance directe sur le module photovoltaïque due aux pertes de Fresnel, par salissure et faibles niveaux d'irradiance.

$$F_T(\theta_2) = 1 - 0.0663\theta_2^2 + 0.0882\theta_2^3 - 0.194\theta_2^4$$

7. La radiation diffuse sur tout plan.

Pour calculer la composante diffuse, on développe le modèle proposé par Pérez. Ce modèle considère trois régions du ciel comme source de radiation diffuse : une *bande circumsolaire* (G_{DC}) où on suppose que tout radiation procède d'un seul point; une *bande horizontale* (G_{DH}) où tout radiation émise procède d'une ligne horizontale et *le reste de l'hémisphère céleste* (G_{DR}).

$$G_{DC}(\alpha, \beta) = G_D(0) \left[F_1 \frac{\max(0, \cos \theta_s)}{\cos \theta_{zs}} \right]$$

$$G_{DH}(\alpha, \beta) = G_D(0) [F_2 \sin \beta]$$

$$G_{DR}(\alpha, \beta) = G_D(0) \left[(1 - F_1) \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \right]$$

Où F_1 et F_2 sont des paramètres adimensionnels qui définissent la contribution relative des bandes circumsolaires et bandes horizontales au total de l'irradiance diffuse.

$$F_1 = F_{11}(\varepsilon) + F_{12}(\varepsilon)\Delta + F_{13}(\varepsilon)\theta_{zs}$$

$$F_2 = F_{21}(\varepsilon) + F_{22}(\varepsilon)\Delta + F_{23}(\varepsilon)\theta_{zs}$$

Pour les calculer, on établie une formule avec Δ , θ_{zs} et les coefficients données sur le tableau ci-joint. Ces coefficients obtenus de façon expérimentale sont sélectionnés selon la valeur de ε .

$$\Delta = \frac{G_D(0)}{B_0 \cos \theta_{zs}}$$

$$\varepsilon = \frac{G_D(0) + \frac{G_B(0)}{\cos \theta_{zs}}}{G_D(0)}$$

Intervalo de ε			F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{21}	F_{22}	F_{23}
1,000	-	1,056	-0,042	0,550	-0,044	-0,120	0,138	-0,034
1,056	-	1,253	0,261	0,559	-0,243	-0,019	0,083	-0,081
1,253	-	1,586	0,481	0,460	-0,354	0,077	0,006	-0,116
1,586	-	2,134	0,825	0,187	-0,532	0,172	-0,050	-0,151
2,134	-	3,230	1,102	-0,299	-0,586	0,350	-0,398	-0,171
3,230	-	5,980	1,226	-0,451	-0,617	0,444	-0,949	-0,073
5,980	-	10,080	1,367	-0,838	-0,655	0,431	-1,750	0,094
10,080	-	∞	0,978	-0,812	-0,393	0,335	-2,160	0,186

Table 2-2. Coefficients de Pérez.

Le rayonnement diffus est la somme des composantes de la bande circumsolaire, la bande horizontale et le reste. La première est multiplié par le facteur de transmittance $F_T(\theta_s)$ et les autres par 0,856 pour corriger les effets dus aux pertes de Fresnel, par salissure et faibles niveaux d'irradiance.

$$G_D(\alpha, \beta) = F_T(\theta_S)G_{DC}(\alpha, \beta) + 0,856G_{DH}(\alpha, \beta) + 0,856G_{DR}(\alpha, \beta)$$

D'une façon conservatrice, on pourra remplacer la valeur de 0,856 par les pertes de Fresnel, dedans la limite de sécurité. Et dans ce cas, sur une surface horizontale, on obtiendra:

$$G_D(\alpha, 0) = G_D(0) F_T(\theta_S)$$

8. L'irradiance de l'albédo sur tout plan.

Pour calculer l'irradiance procédant de l'albédo, on considère le sol comme une surface horizontale et infinie qui reflète isotropiquement la radiation qui reçoit. On considère des sols avec une réflectivité (ρ) de valeur 0,2 et un facteur de transmittance égal à 0,856.

$$G_R(\beta, \alpha) = 0,856G(0) \cdot (1 - \cos \beta) \cdot \frac{\rho}{2}$$

9. L'irradiance globale

L'irradiance globale est définie comme la somme des trois composantes précitées : directe, diffuse et albédo.

$$G(\alpha, \beta) = G_B(\alpha, \beta) + G_D(\alpha, \beta) + G_R(\alpha, \beta)$$

Pour la valeur de l'irradiance globale, on peut mépriser la valeur de l'irradiance d'albédo.

10. Calcul des valeurs d'opération d'un producteur photovoltaïque.

Le premier pas est consisté à calculer l'évolution des températures au cours de la journée. Le modèle à utiliser pour décrire la variation de température ambiante (T_a) au cours de la journée à partir de la température maximale et minimale ce-jour-là considère que:

a. La température ambiante maximale (T_{aM}) se produit toujours deux heures après le midi solaire ($\omega = \pi/6$).

b. La température ambiante minimale (T_{am}) se produit toujours au lever du jour ($\omega = \omega_S$

c. Entre ces deux instants, la température ambiante évolue conformément aux deux demi-cycles de deux fonctions cosinus, selon le temps solaire (ω):

- Pour $\omega < \omega_S$

$$\text{on utilise: } T_a = T_{aM} - \frac{T_{aM} - T_{am}}{2} [1 + \cos(a\omega + b)]$$

$$\text{où: } a = \frac{\pi}{\frac{\pi}{6} - \omega_S - 2\pi} \text{ et } b = -a\omega_S$$

- Pour $\omega_S < \omega < \frac{\pi}{6}$

- Pour: $\omega_S < \omega < \frac{\pi}{6}$

on utilise: $T_a = T_{am} + \frac{T_{aM} - T_{am}}{2} [1 + \cos(a\omega + b)]$

où: $a = \frac{\pi}{\omega_2 - \pi/6}$ et $b = -a \frac{\pi}{6}$

- Pour $\omega > \frac{\pi}{6}$

on utilise: $T_a = T_{aM} - \frac{T_{aM} - T_{am}}{2} [1 + \cos(a\omega + b)]$

où: $a = \frac{\pi}{2\pi + \omega_2 - \frac{\pi}{6}}$ et $b = -\left(\pi + a \frac{\pi}{6}\right)$

Cette procédure sera usée pour calculer l'évolution dans le temps de la température ambiante (T_a).

Pour calculer les valeurs d'opération d'un producteur photovoltaïque, on peut considérer la suivante formule qui définit sa caractéristique I-V:

$$I_G = N_{mp} N_{cp} I_{sc} \left[1 - \exp\left(\frac{V_G / (N_{cs} N_{ms}) - V_{oc} + I_G R_s / (N_{cp} N_{mp})}{V_t}\right) \right]$$

Where:

I_G c'est le courant du producteur photovoltaïque (A).

V_G c'est la tension du producteur photovoltaïque (V).

N_{cp} c'est le nombre de cellules en parallèle du module photovoltaïque.

N_{cs} c'est le nombre de cellules en série du module photovoltaïque.

N_{mp} c'est le nombre de modules en parallèle du producteur photovoltaïque.

N_{ms} c'est le nombre de modules en série du producteur photovoltaïque.

I_{sc} c'est le courant de court-circuit d'une cellule du module photovoltaïque (A).

V_{sc} c'est la tension de circuit ouvert d'une cellule du module photovoltaïque (V).

R_s c'est la résistance série d'une cellule du module photovoltaïque (Ω).

V_t c'est le voltage thermique (V).

L'objectif est d'obtenir la valeur de voltage maximal que le producteur peut atteindre pour une paire de valeurs d'irradiance et température déterminés. Pour chaque point de la courbe I x V, le produit du courant et la tension représentent le voltage de sortie pour ces conditions d'opération. Le voltage maximal de sortie de la cellule est obtenu pour:

$$\frac{d(IV)}{dV} = 0$$

Le *Facteur de Forme* (FF) donne la mesure de la qualité de l'union et la résistance série de la cellule. Il est défini comme le quotient entre le voltage maximal et le produit de la courant de court-circuit et la tension de circuit

ouvert. Idéalement, le FF dépend seulement du voltage de circuit normalisé V_{oc} , défini comme le quotient entre la tension de circuit ouvert de la cellule et kT/q . Tous les deux paramètres sont liés par l'expression suivante:

$$FF = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1}$$

Ensuite on décrit la procédure employée pour calculer la tension et le courant au point de voltage maximal d'une cellule, sous des conditions déterminées de radiation et température. Il est fondé sur le calcul du FF et sur les suivantes valeurs:

- Courant de court-circuit d'une cellule dans des conditions standard ($I_{SC,sc}$).
- Tension de circuit ouvert d'une cellule dans des conditions standard ($V_{OC,sc}$).
- Courant de voltage maximal d'une cellule dans des conditions standard ($I_{MAX,sc}$).
- Tension de voltage maximal d'une cellule dans des conditions standard ($V_{MAX,sc}$).
- Température d'opération nominale de la cellule (T_{ONC}).
- Facteur de forme dans des conditions standard (FF_{sc}).

Pour obtenir les valeurs d'opération de la cellule, on emploie de manière séquentielle dans le calcul les suivants huit points:

a. Courant de court-circuit de la cellule:

$$I_{SC} = G(W/m^2) \frac{I_{SC,sc}}{1000W/m^2}$$

b. Température de la cellule:

$$T_c = (^\circ C) = T_a(^\circ C) + \left(\frac{T_{ONC}(^\circ C) - 20}{800W/m^2} \right) G(W/m^2)$$

c. Tension de circuit ouvert de la cellule:

$$V_{OC}(V) = V_{OC,atc}(V) - 0,0023(T_c(^\circ C) - 25)$$

d. Tension de la cellule normalisée:

$$v_{OC} = \frac{V_{OC}}{V_t}$$

où V_t c'est le voltage thermique:

$$V_t(V) = 0,025 \frac{T_c(^\circ C) + 273}{300}$$

e. Facteur de forme pour une cellule idéale sans considérer la résistance:

$$FF_0 = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1}$$

f. Résistance série:

$$r_s = 1 - \frac{FF_{stc}}{FF_0}$$

g. Tension et courant de la cellule au point de voltage maximal:

$$V_{MAX} = V_{oc} \cdot \left[1 - \frac{b}{v_{oc}} \cdot \ln a - r_s \cdot (1 - a^{-b}) \right]$$

$$I_{MAX} = I_{SC} \cdot (1 - a^{-b})$$

$$\text{où: } a = v_{oc} + 1 - 1 \cdot v_{oc} \cdot r_s \quad y \quad b = \frac{a}{1+a}$$

h. Voltage maximal de la cellule (P_{MAX}):

$$P_{MAX} = V_{MAX} I_{MAX}$$

Avec les valeurs calculées pour les cellules du producteur photovoltaïque, on obtient ces valeurs d'opération pour le producteur:

$$I_{MAXG} = I_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp}$$

$$V_{MAXG} = V_{MAX} \cdot N_{ms} \cdot N_{cs}$$

$$P_{MAXG} = P_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp} \cdot N_{m2} \cdot N_{c2}$$

En recueillant les formules précédentes, on obtient le tableau ci-dessous:

<p>1.- Courant de court-circuit de la cellule</p> $I_{SC} = G(W/m^2) \frac{I_{SC,STC}}{1000W/m^2} \quad (4)$	<p>2.- Température de la cellule</p> $T_c = (^\circ C) = T_a(^\circ C) + \left(\frac{TONC(^\circ C) - 20}{800W/m^2} \right) G(W/m^2) \quad (5)$
<p>3.- Tension de circuit ouvert de la cellule:</p> $V_{OC}(V) = V_{OC,atc}(V) - 0,0023(T_c(^\circ C) - 25) \quad (6)$	<p>4.- Tension de la cellule normalisée:</p> $V_{OC} = \frac{V_{OC}}{V_t} \quad \text{où } V_t \text{ c'est le voltage thermique} \quad (7)$ $V_t(V) = 0,025 \frac{T_c(^\circ C) + 273}{300} \quad (8)$
<p>5.- Facteur de forme pour une cellule idéale sans considérer la résistance série:</p> $FF_0 = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1} \quad (9)$	<p>6.- Résistance normalisée:</p> $r_s = 1 - \frac{FF_{STC}}{FF_0} \quad (10)$
<p>7.- Tension et courant de la cellule au point de voltage maximal :</p> $V_{MAX} = V_{OC} \cdot \left[1 - \frac{b}{v_{oc}} \cdot \ln a - r_2 \cdot (1 - a^{-b}) \right] \quad (11)$ $I_{MAX} = I_{SC} \cdot (1 - a^{-b}) \quad (12)$	
<p>8.- Tension et courant de la cellule au point de voltage maximal : (P_{MAX})</p> $P_{MAX} = V_{MAX} I_{MAX} \quad (15)$	<p>9.- Avec les valeurs calculées pour les cellules du producteur photovoltaïque, on obtient ces valeurs d'opération pour le producteur:</p> $V_{MAXG} = V_{MAX} \cdot N_{ms} \cdot N_{cs} \quad (16)$ $I_{MAXG} = I_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp} \quad (17)$ $P_{MAXG} = P_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp} \cdot N_{m2} \cdot N_{c2}$

Table 2-3. Valeurs d'opération d'un producteur photovoltaïque.

11. Calcul du voltage de la dalle solaire.

Quand on applique les pas 1 à 10 décrits auparavant, on obtiendra le voltage maximal de la cellule et de la dalle solaire pour tout moment de la journée. C'est pour cela que cette Guide annexe un logiciel spécifique qui, en plus, tient en compte les aspects traités ensuite (transparence, dégradation, etc.).

En général, la disposition horizontale de la dalle solaire entraîne une réduction très importante de la radiation solaire sur elle même. Cette réduction peut osciller selon le jour de l'année et la situation géographique entre le 30 et le 70%.

Ensuite on va considérer également l'effet de transparence du protecteur, l'effet de salissure, de dégradation du protecteur, de vieillissement du module solaire et le plus important : la limitation de la radiation directe due à sa situation sur une voie urbaine.

8.2. Effet de la transparence du protecteur.

Comme on a indiqué antérieurement, pour un verre feuilleté extra-claire avec de traitement superficiel de caractère glissant, la transmissivité lumineuse dépasse rarement le 85%. (90% for PMMA).

On devra déterminer les valeurs de transmissivité des solutions de protecteur avec les essais correspondants.

Pour les calculs faits dans ce dossier, on va prendre une valeur de 0,85 ; c'est-à-dire, on va réduire de 15% le voltage calculé.

En tout cas, pour la deuxième phase de ce dossier de recherche, on fera les essais vérificateurs des données antérieures.

8.3. Effet de la salissure.

En général, à des conditions normales de maintenance du pavé, il suffira la formule de Fresnel décrite auparavant pour considérer les pertes dues à ce motif.

$$F_T = (\theta_2) = 1 - 0.0663\theta_2^2 + 0.0882\theta_2^3 - 0.194\theta_2^4$$

Il convient de signaler que les valeurs obtenues par la formule de Fresnel entraînent des réductions du voltage entre 50 et 5% à peu près selon le moment de la journée. C'est pour cela qu'on peut la considérer une valeur très conservatrice.

8.4. Effet de la dégradation du protecteur.

La dégradation du protecteur sera donnée par les rayures superficielles ; comme on a indiqué antérieurement sera essentiel d'exiger valeurs de dureté 6 dans la échelle de Mohs. La dégradation par rayures entraînera une perte de transmissivité lumineuse.

Cette perte peut osciller entre 5 et 7% pour des zones très fréquentées.

8.5. Effet du vieillissement du module solaire.

En général, ceux qui commercialisent des cellules solaires cristallines certifient souvent une vie utile de 25-30 ans à peu près, avec une perte du 20-25% dans l'année horizon (0,8% en moyenne annuel à peu près).

En général, on recommande considérer des pertes annuelles de rendement du 1%.

8.6. Effet du climat.

Selon le climat, il y aura plus o moins jours ensoleillés par an; plus nombre de jours nuageux, moins irradiance solaire sur la surface. Cette donnée est variable dans le monde entier.

La réduction du nombre de jours ensoleillés entraîne la diminution du pourcentage de la production électrique photovoltaïque annuelle par rapport aux valeurs qu'on obtiendrait dans des jours ensoleillés.

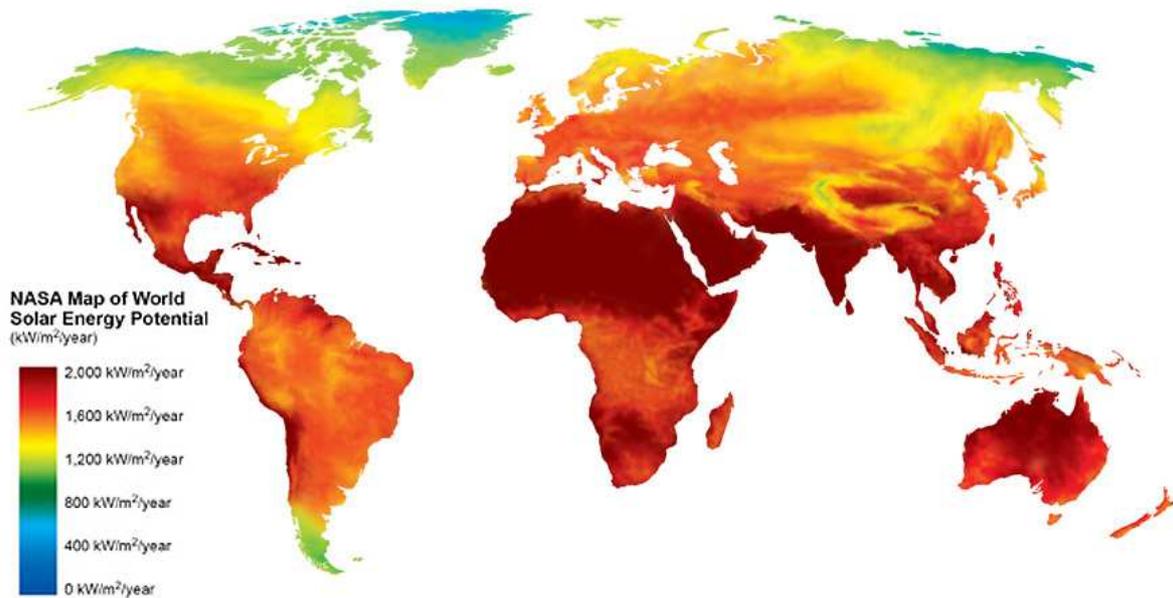


Image 36. Valeurs moyennes de l'irradiance solaire dans le monde.

On devra déterminer spécifiquement ces réductions de production solaire photovoltaïque pour chaque situation géographique.

8.7. Effet de l'emplacement en ombre.

Cet effet est le plus important puisque la hauteur des édifices vont imposer une réduction des heures de radiation directe.

La longueur de l'ombre projetée sur un édifice de hauteur $h_{\text{édif}}$ sera donnée par la formule qui suit:

$$L_{\text{ombre}} = h_{\text{édif}} / \text{tg } h$$

Où h c'est la hauteur solaire: $h = 90^\circ - \Theta_s$

À chaque moment, pour un azimut solaire déterminé (A_{sol}), l'ombre projetée par un axe vertical forme un angle (α_{ombre}) avec la transversal à une voie avec un azimut A_{rue} et avec une largeur A_{rue} donnée par la formule:

$$\alpha_{\text{ombre}} = A_{\text{rue}} - 90^\circ - A_{\text{sol}}, \text{ les azimuts étant mesurés depuis le sud.}$$

Le pavé d'une voie sera complètement en ombre quand la suivante formule soit respectée:

$$L_{\text{ombre}} \cos \alpha_{\text{ombre}} > a_{\text{rue}}, \text{ ou bien, ce qui est pareil :}$$

$$[h_{\text{édif}} / \text{tg } h] \cos \alpha_{\text{ombre}} > a_{\text{rue}} \Rightarrow [h_{\text{édif}} / \text{tg } h] \cos (A_{\text{rue}} - 90^\circ - A_{\text{sol}}) > a_{\text{rue}}$$

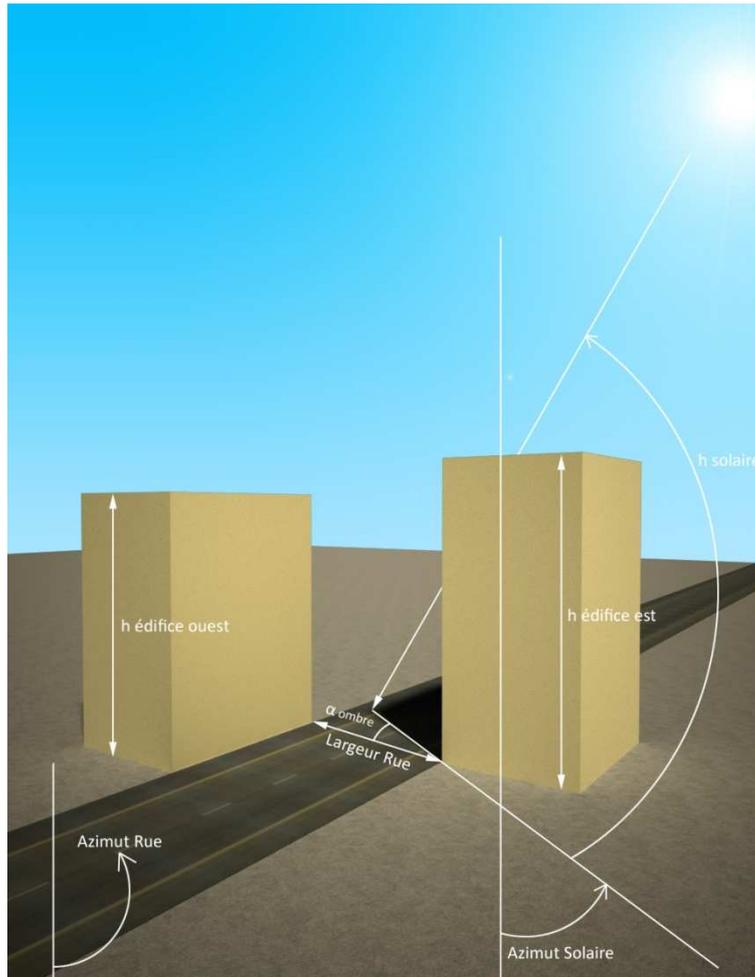


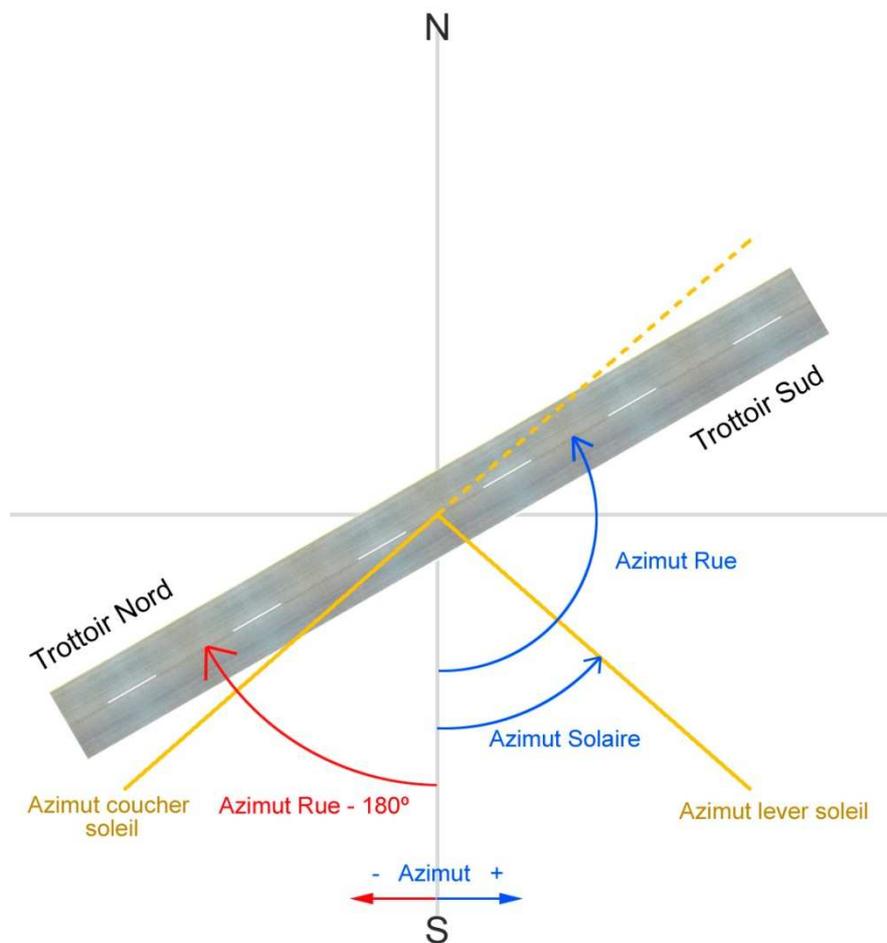
Image 37. Critère de projection d'ombres par les édifices sur une voie.

Toute la voie sera éclairée quand l'azimut de la voie A_{rue} coïncide avec l'azimut du soleil A_{sol} . Comme on peut déduire, l'orientation de la voie joue un rôle très important dans l'éclairage d'elle même ; ainsi, on peut considérer les situations suivantes:

- Voie orienté est-ouest à peu près:

Dans cette voie, quand le azimut A_{rue} est plus grand que l'azimut du lever du soleil (A_{lever}) et aussi plus petit que l'azimut du coucher du soleil moins 180° ($A_{coucher}-180^\circ$), le trottoir sud sera toujours en ombre :

$A_{lever} < A_{rue} < A_{coucher} - 180^\circ \Rightarrow$ dans ce cas, le trottoir sud sera toujours en ombre.



Azimut lever soleil < Azimut Rue < Azimut lever soleil – 180°

Dans ce cas, le trottoir sud sera toujours en ombre

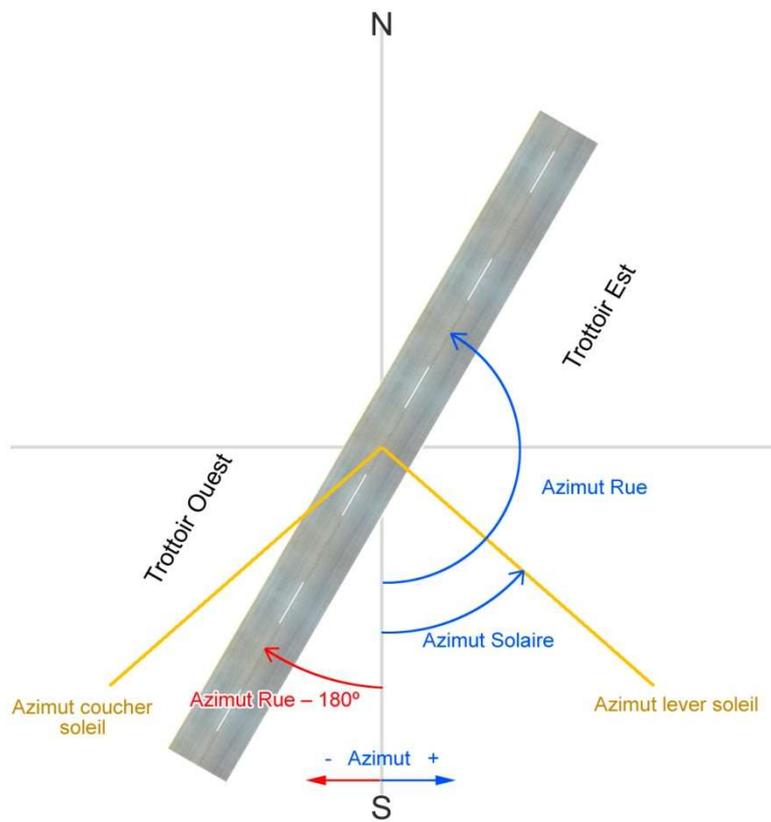
Image 38. Exemple de voie sans radiation du trottoir sud.

Pour les autres voies, à chaque moment, il y aura un trottoir éclairé et une autre en ombre sauf au moment où l'azimut de la voie coïncide avec l'azimut du sol.

Pour ces autres voies, on distingue entre un trottoir ouest et un trottoir est ; pour les différencier, on coupe la voie par une ligne de direction est-ouest ; le trottoir coupé par l'extrémité "est" sera le "trottoir est" et l'opposée sera le "trottoir ouest".

Considérant une voie d'une largeur finie, pour savoir quel trottoir est éclairé, on détermine si l'azimut de la voie A_{rue} est plus grand que l'azimut du lever du soleil A_{lever} .

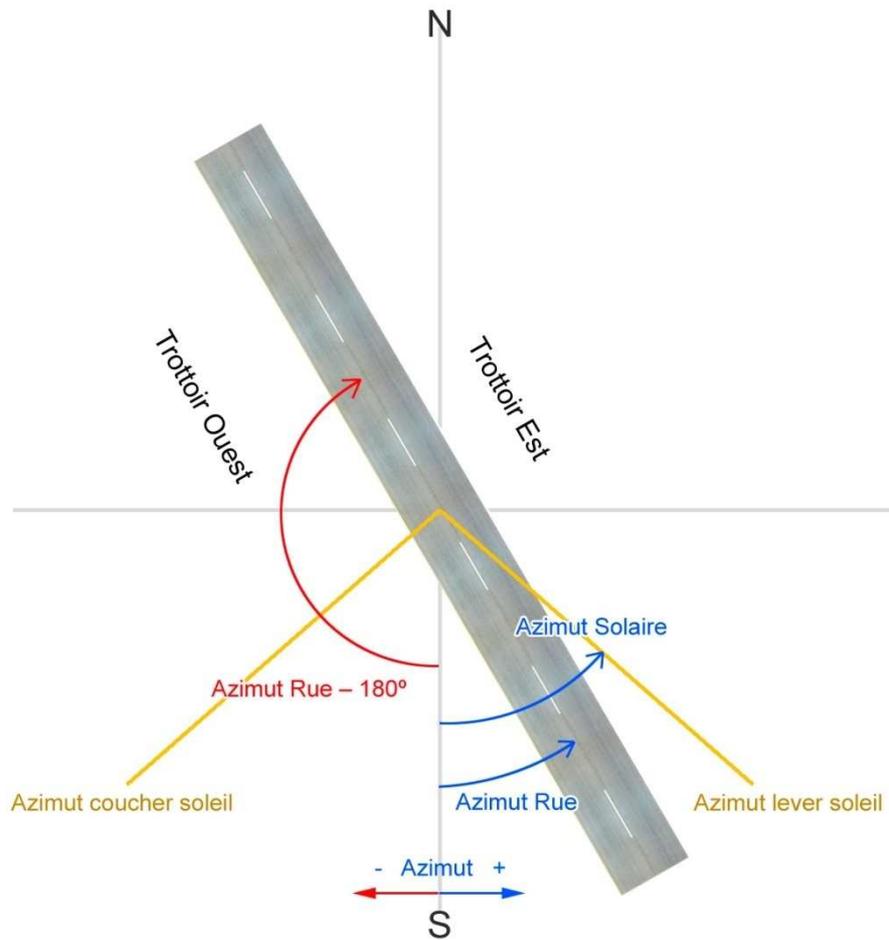
Situation 1 : $A_{rue} > A_{lever}$



Azimut Rue > Azimut lever soleil	Azimut Solaire > 0	Azimut Solaire < Azimut Rue
Éclairage Trottoir Ouest	Azimut Solaire < 0	Azimut Solaire > Azimut Rue - 180°

Image 39. Conditions d'éclairage du trottoir ouest avec $A_{rue} > A_{coucher}$ pour une voie de largeur infinie.

Situation 2 : $A_{rue} < A_{lever}$



Azimut Rue < Azimut Solaire	Azimut Solaire > 0	Azimut Solaire > Azimut Rue
Éclairage Trottoir Ouest	Azimut Solaire < 0	Azimut Solaire < Azimut Rue - 180°

Image 40. Conditions d'éclairage du trottoir ouest avec $A_{rue} < A_{coucher}$ pour une voie de largeur infinie.

Quand les critères antérieurs ne soient pas respectés, pour toutes les deux situations, le trottoir sera éclairé.

Pour un voie de largeur finie a_{rue} , tout trottoir sera éclairé quand en plus de les critères précités, il se produit la formule suivante :

$$[h_{édif} / \text{tg } h] \cos a_{\text{ombre}} < a_{\text{calle}} \Rightarrow [h_{édif} / \text{tg } h] \cos (A_{rue} - 90^\circ - A_{sol}) < a_{rue}$$

Avec les formules antérieures, à chaque moment du jour, on pourra savoir quel trottoir est éclairé, la longueur de l'ombre et, ce qui est plus important, le nombre d'heures que la dalle solaire va avoir radiation directe.

Ainsi, avec les processus définis: en tenant compte des pertes par transmissivité et vieillissement, et en savant les heures de radiation directe en chaque voie selon sa géométrie, pour le trottoir ouest ou est de la voie, on pourra déterminer le rendement photovoltaïque de la dalle solaire.

CHAP 3. LES HOURDIS SANS ÉCHAFAUDAGE



CHAP 3.

LES HOURDIS SANS ÉCHAFAUDAGE

PARTIE 1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE

La nécessité de développer des solutions structurelles préfabriquées visent à réduire le temps de construction, à améliorer le comportement structurel et à minimiser la complexité des processus constructifs a mené au développement technologique des hourdis sans échafaudage.

Les hourdis sans échafaudage se distinguent par les avantages suivants:

- Ils permettent la construction de l'hourdis sans échafaudage puisqu'il suffit d'appuyer les structures préfabriquées sur des étais placés dans les nerfs du contour.
- La solution se distingue par la rigidification du périmètre de la structure qui partage les avantages des planchers unidirectionnels où les efforts sont conduits aux piliers au moyen des poutres et les hourdis réticulaires qui ont une transmission d'efforts bidirectionnelle. En conséquence, il se produit un considérable accroissement de l'inertie des poutres et de cerces et une diminution importante de déformations verticales.

Les panneaux des hourdis préfabriqués se font en utilisant du béton armé avec une mixture de fibre de verre HRMFV, ce qui permet une réduction significative de l'armature et garantie l'absence de fissures pour des niveaux de charge standard.

Ces hourdis peuvent être exécutés bien avec un plafond exposé ou bien avec un plafond caché grâce à l'introduction de caissons. Pour le deuxième cas, on utilisera des prédalles pour cacher les creux des réticules avant d'exécuter la couche de compression.



Image 41. Détail d'hourdis sans échafaudage.

PARTIE 2. GÉOMÉTRIES ET FORMATS

Les formats à commercialiser sont:

- Hourdis sans échafaudage 30 cm de bord réticulaire.

Code du produit: FDSC-30-R.



Image 42. Détail d'hourdis sans échafaudage de 30 cm de bord.

- Hourdis sans échafaudage 35 cm de bord réticulaire.

Code du produit: FDSC-35-R.



Image 43. Détail d'hourdis sans échafaudage de 35 cm de bord.

Les caissons et les prédalles pour chaque solution précitée ont les codes suivants:

- Caissons de l'hourdis type réticulaire FDSC-30-R : C-30-R.

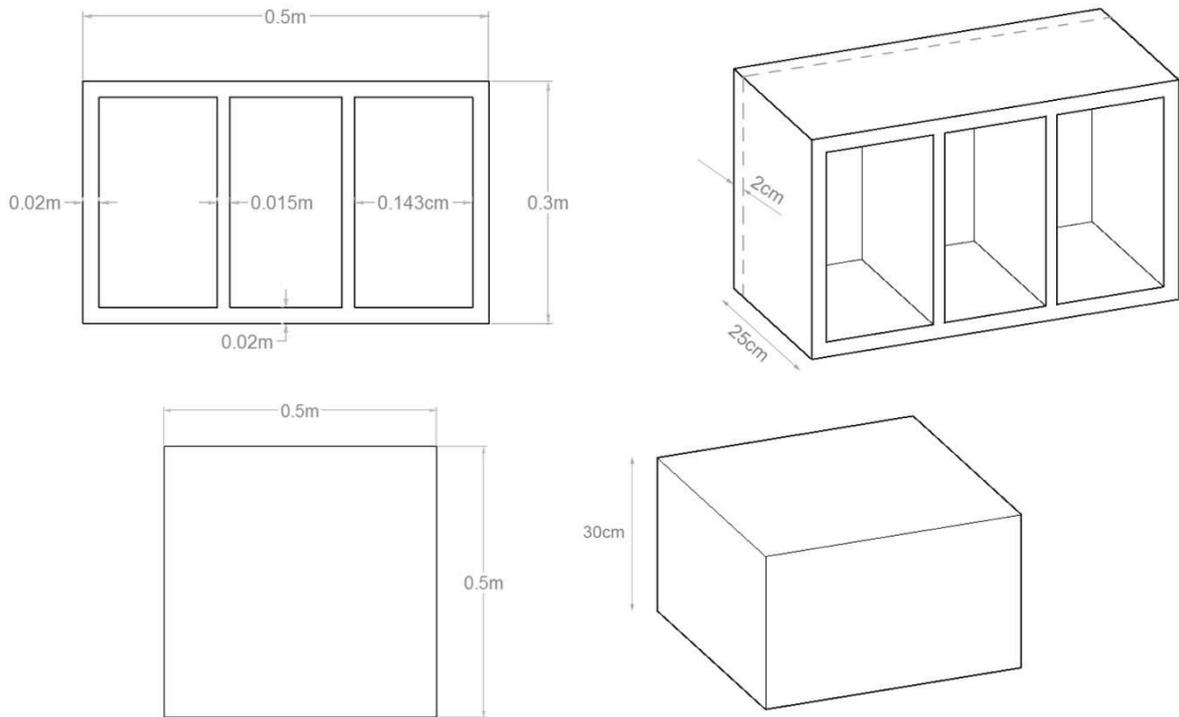


Image 44. Caisson de béton pour exécuter plafond plate. À incorporer dans l'étape de préfabrication.

- Caissons de l'hourdis type réticulaire FDSC-35-R : C-35-R.

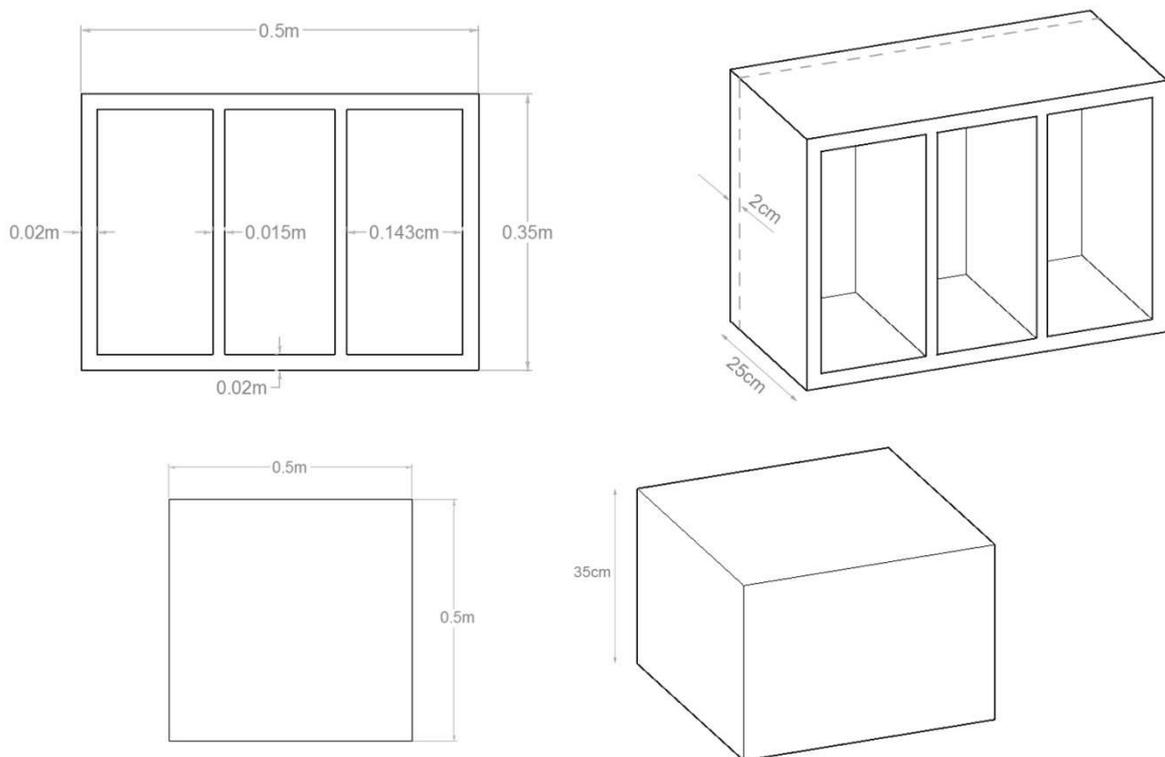


Image 45. Détail de caissons de béton et PSE.

- Prédalle 50x50x4 cm : P-R.



Image 46. Détail de prédalle.

Les lumières maximales considérées pour chaque cas sont:

- Hourdis FDSC-30-R : 6 m.
- Hourdis FDSC-35-R: 8 m.

Les réticules pour les deux types sont 50x50 cm et les nerfs ont une épaisseur variable (8 dans la fibre inférieure et 8,5CM dans la supérieure).

La dimension maximale de l'hourdis FDSC-30-R sera 3x9 réticules, bien qu'ils peuvent être configurés avec une dimension plus petite (2x8, 3x9, 3x7, etc.).

Pour l'hourdis FDSC-35-R, la dimension maximale sera 3x13 réticules.

Pour certains cas, si le promoteur en exige, les réticules pourront se faire incomplètes (demi-réticules généralement).

De son côté, les ailes latérales saillantes pourront en avoir une longueur maximale de 30 cm bien que la valeur conventionnelle est 25 cm. Pour des poutrelles intermédiaires, on serait convenable de la limiter à 12,5 ou 15 cm.

Les diagrammes suivantes recueillent les dimensions des divers formats d'hourdis ainsi que des prédalles et caissons. Il doit être noté que la solution hexagonale n'admet que les prédalles.

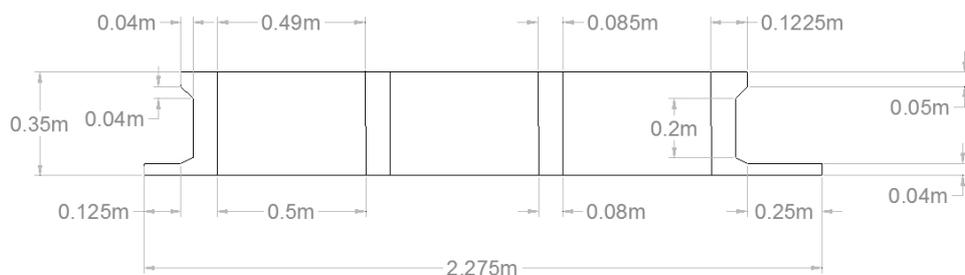
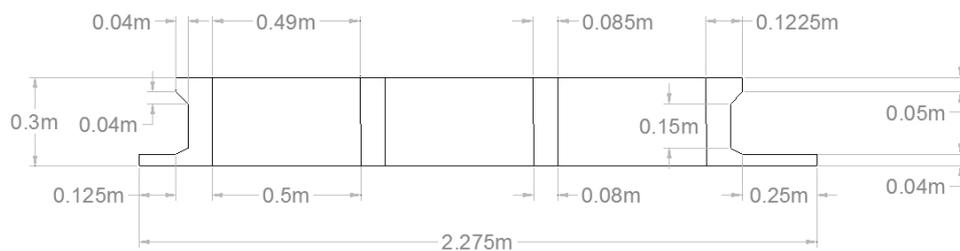


Image 47. Sections Hourdis de 30 et 35 cm sans caissons.



Image 48. Sections Hourdis de 30 et 35 cm avec caissons.



Image 49. Sections Hourdis avec prédalles incorporées.



Image 50. Sections Hourdis de 30 et 35 cm avec dalle de compression exécutée pendant préfabrication.

PARTIE 3. MATÉRIAUX.

Le béton à employer devra respecter le suivant dosage:

Granulat	1.700 Kg
Ciment 42.5 R	400 Kg (teneur minimum)
Plastifiant	2,4 l
Fibre de verre 36 mm de longueur.	15 Kg
Fibre de verre 12 mm de longueur.	4 Kg
Eau	200 l (selon la teneur en ciment)

Granulat:

Fraction grossière, 8/12 mm : 40%.

Fraction fine, 0/5 mm : 60%.

Les essais devront garantir une résistance caractéristique d'au moins 35 MPa et une résistance à traction-flexion de 5,5 MPa.

La fibre de verre devra respecter les prescriptions suivantes:

Fibre de verre

- Teneur minimum en $ZrO_2 > 15\%$.
- Longueur de la fibre : 36 mm.
- Perte au feu = 2 %.
- Filaments unis formant des fils.
- Diamètre du filament = 14 μ
- Masse linéaire (g/km) = 2.450 Tex.
- Densité = 2,68 g/cm³
- Module de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Module de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Résistance à la traction du fil (Nw/mm²) (MPa) > 1.700 MPa
- Résistance à la traction du Filament Vierge = 3.500 MPa

Finalement, l'acier sera certifié du type B500S.

PARTIE 4. CONTRÔLE DE QUALITÉ.

Les essais correspondants seront appliqués au lieu de fabrication pour contrôler rigoureusement les aciers et les bétons, conformément la normative nationale pour chaque cas.

Chacun des lots devra comprendre les essais vérificateurs de la résistance caractéristique du béton et la résistance à traction-flexion ainsi comme d'autres qui soient prescrits par les instructions correspondantes.

Les lots de béton ne dépasseront pas les limites supérieures suivantes:

Surface de panneau construit: 300 m².

Temps de bétonnage : 2 semaines

Les aciers et la fibre de verre comprendront un certificat de qualité.

Les lots d'acier et fibres ne dépasseront pas les limites supérieures suivantes:

Surface de panneau construit: 5,000 m².

Par lot de livraison

Le fabricant livrera le plan de contrôle fait dans le lieu de fabrication et les essais correspondants au contrôle des panneaux livrés.

PARTIE 5. SOLUTIONS ARCHITECTONIQUES ET STRUCTURELLES.

En général, pour les hourdis, l'architecte pourra travailler avec liberté de dessin pouvant adapter a posteriori la dimension des panneaux aux espaces entre les piliers.

La dalle de compression aura 6 cm d'épaisseur.

En général, dû à leur facilité constructive, on recommande d'utiliser poutres et cerces qui n'excèdent pas les 30 cm de largeur, ce qui c'est suffisant en considérant que leurs bords seront de 33 cm.

Quand on prévoit des largeurs de bord supérieures aux poutres, on recommande de ne pas exécuter l'aile du panneau. En revanche, on recommande de placer un coffrage inférieur pour exécuter l'hourdis.

De la même façon, on recommande d'utiliser piliers rectangulaires adaptés à la forme de l'aile de 25 ou 30 cm. Quand la dimension du pilier est supérieure, le nerf du coin sera fabriqué adapté à cette dimension comme on peut observer dans le diagramme ci-joint.

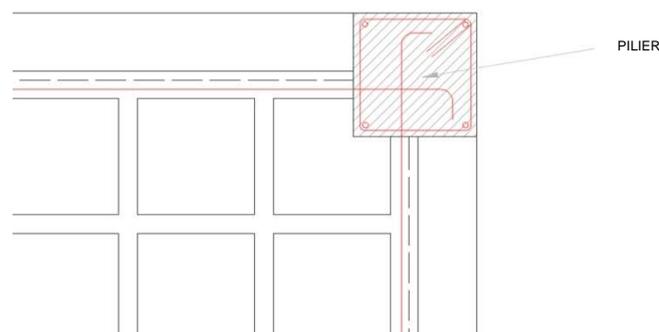


Image 51. Execution of the union between pillars which are wider than beams.

PARTIE 6. CONSTRUCTION ET MONTAGE

Une fois que les piliers ont été exécutés, il suffira de placer des lignes d'étais aux côtés des panneaux préfabriqués. Ces lignes des étais culmineront sur une barre qui pourra s'appuyer sur les piliers.

Alternativement, quand on place les panneaux au pair, le nombre d'étais pourra être optimisé en moyen de placer trois lignes d'étais avec les barres correspondantes:

- une ligne au centre transversal à la ligne d'union entre les deux panneaux.
- deux lignes parallèles à l'antérieur dans les bords de chacun des panneaux.

À l'image ci-joint on observe le processus antérieur.



Image 52. Emplacement de panneaux préfabriqués.

Après sept jours, on pourra retirer les étais. Quand on prévoit comment vont être placées les charges dans le lieu de construction, il serait recommandable de laisser les étais utilisés dans l'hourdis inférieur pendant on travaille dans l'hourdis supérieur, ce qui réduira notamment le temps.



Image 53. Placement de prédalles, coffrage, remplissage de béton et décoffrage final

PARTIE 7. CALCUL STRUCTUREL.

Pour le calcul structurel des hourdis sans échafaudage, le projecteur pourra adopter la méthode la plus adéquate pour le dimensionnement structurel.

Cette Guide fournit une méthode simplifiée très simple et facile à modéliser grâce à tout logiciel de calcul structurel pour édifices. Cette méthode, appelée méthode de dalle équivalente, consiste à considérer une dalle d'inertie équivalente placée entre les poutres et les poutrelles situées entre les panneaux des hourdis. Ainsi, les poutres et poutrelles seront dimensionnées avec la largeur la plus petite que possible entre le bord et le panneau (pour les poutres du bord) ou entre les panneaux continus (pour les poutres ou poutrelles intérieures). Le bord de poutres et poutrelles s'écrit ensuite :

La dalle équivalente aura les caractéristiques suivantes:

- Hourdis FDSC-30-R

Béton : HA-35.

Bord de la dalle équivalente: 28 cm. (Dalle de compression 6cm)

Poids de la dalle équivalente: selon ajustage géométrique. Voir logiciel ci-joint.

- Hourdis FDSC-35-R

Béton: HA-35.

Bord de la dalle équivalente: 31 cm. (Dalle de compression 6cm)

Poids de la dalle équivalente: selon ajustage géométrique. Voir logiciel ci-joint.

Dans les deux cas on appliquera un coefficient de réduction de l'inertie de torsion pour la dalle équivalente égal à 0,2.

Pour modéliser la dalle équivalente, on considérera que l'union de la dalle avec les poutres et les poutrelles est rigide. Le projecteur pourra choisir le béton de poutres et poutrelles, étant recommandable l'emploi de HA-35.

Pour introduire le poids de la dalle, l'ingénieur calculeur pourra bien introduire la dalle sans poids et, ensuite, appliquer une charge permanente superficielle du poids indiqué ou bien introduire un poids par volume réduit pour obtenir la même charge par mètre carré par poids propre.

Les modèles développés par des éléments finis démontrent que la méthode antérieure met en évidence des valeurs de tensions entre 5% et 10% supérieures au modèle réel de l'hourdis sans échafaudage. De la même façon, les flèches se placent autour du 10%. La méthode donc est dans la limite de sécurité, ce qui simplifie notamment le calcul des hourdis.

Dans les fiches suivantes on fournit les valeurs maximales de traction et tension tangentielle espérées en considérant les différentes dimensions des panneaux d'hourdis sans échafaudage et pour les charges indiquées.

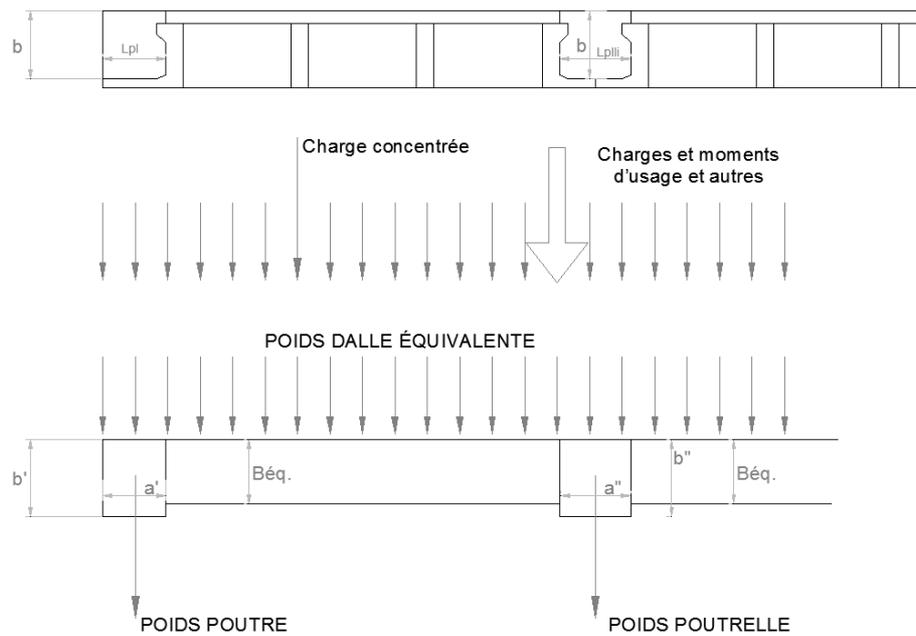


Image 54. Répartition de charges dans la dalle équivalente.

FDSC-30-R (30cm)	$b' = b + 1 \text{ cm}$ $a' = a_L - 2 \text{ cm}$	$b'' = b + 1 \text{ cm}$ $a'' = a_C - 3 \text{ cm}$	$B_{\text{éq.}} = 28 \text{ cm}^{(1)}$ Poids: selon géométrie.
FDSC-35-R (35cm)	$b' = b$ $a' = a_L - 1 \text{ cm}$	$b'' = b$ $a'' = a_C - 1,5 \text{ cm}$	$B_{\text{éq.}} = 31 \text{ cm}^{(1)}$ Poids: selon géométrie.

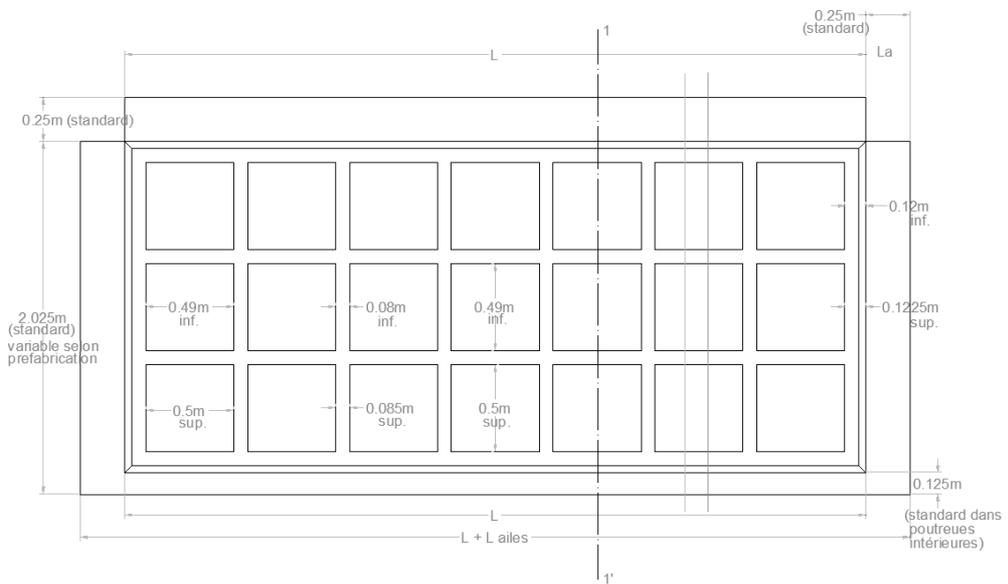
(1) avec prédalles, augmenter 2 cm le bord équivalent.

Table 3-1. Geometry of the equivalent slab, and inner beams and bands.

Hourdis FDSC-30-R

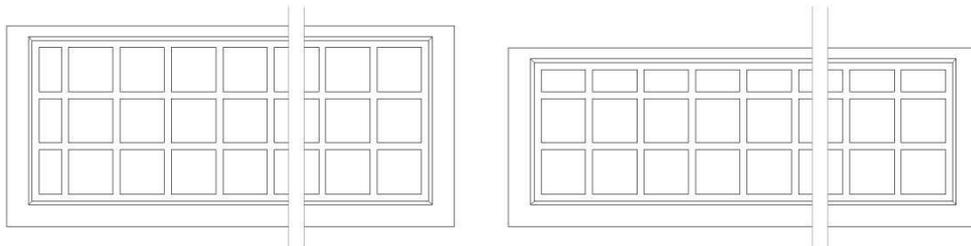
1.- GÉOMÉTRIE

Sur plan

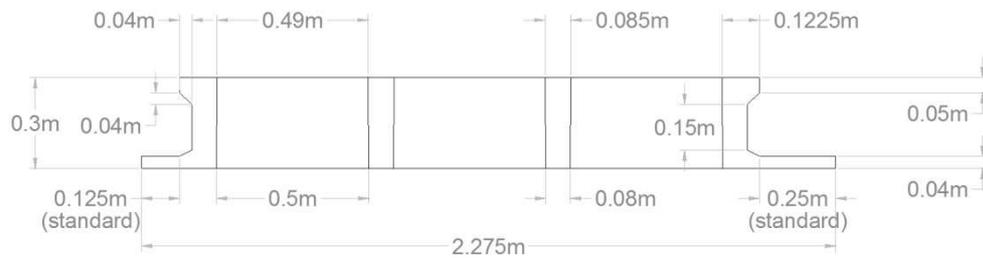


La dimension des ailes pourront être ajustées à ceue du périmètre exigée par l'hourdis

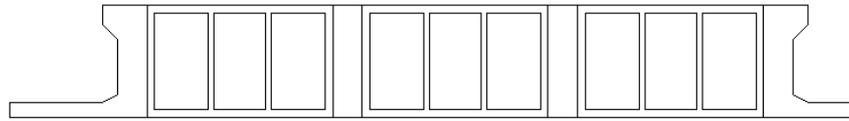
Solutions avec demi-caissons



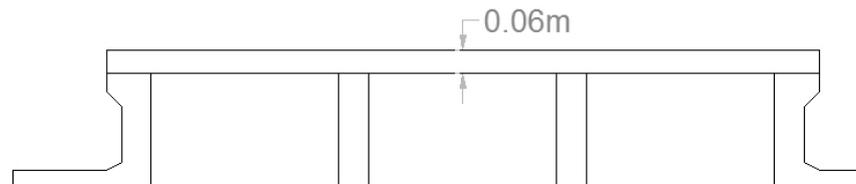
Section 1-1'



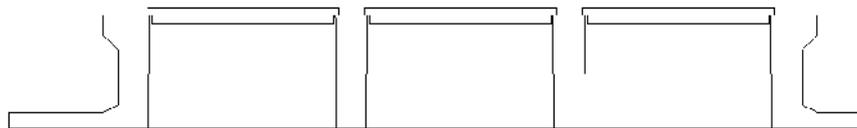
Choix avec caissons incorporés pendant préfabrication:



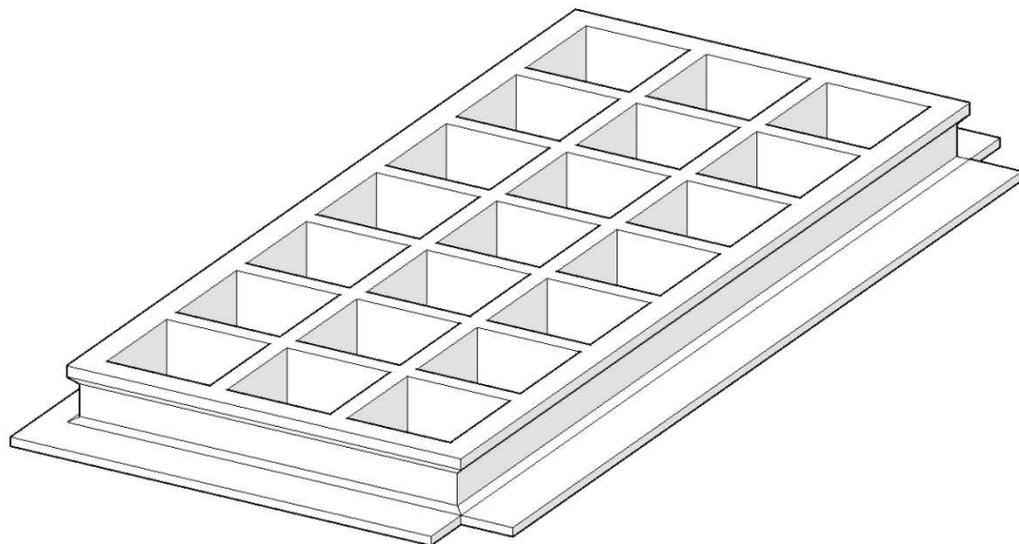
Choix dalle de compression incorporée:



Choix avec prédaues:

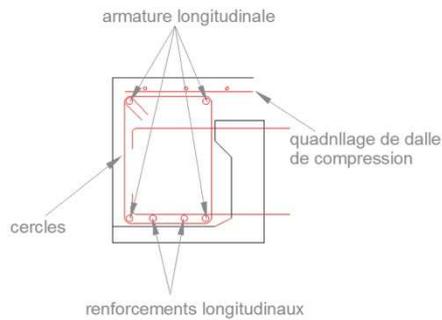


Vue 3D

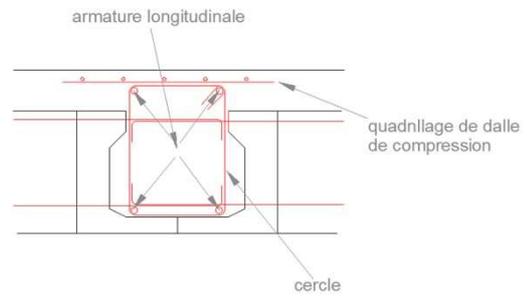


2.- POUTRES ET POUTRELLES

DÉTAIL ARMATURE POUTRE PÉRIMÈTRE



DÉTAIL ARMATURE POUTRELLE CENTRALE



3.- DOSAGE ET MATÉRIEAUX

Le béton à employer devra respecter le suivant dosage:

Arde	1700 Kg
Ciment 42.5 R	400 Kg, (teneur minimum)
Plastifiant	2,4 l
Fibre de verre 36 mm de longueur.	15 Kg
Fibre de verre 12 mm de longueur.	4 Kg
Eau	200 l (selon la teneur en ciment)

Arde:

Fraction grossière, 8/12 mm : 40%.

Fraction fine, 0/5 mm : 60%.

Les essais devront garantir une résistance caractéristique d'au moins 35 MPa et une résistance à traction-flexion de 5,5 MPa.

La fibre de verre devra respecter les prescriptions suivantes:

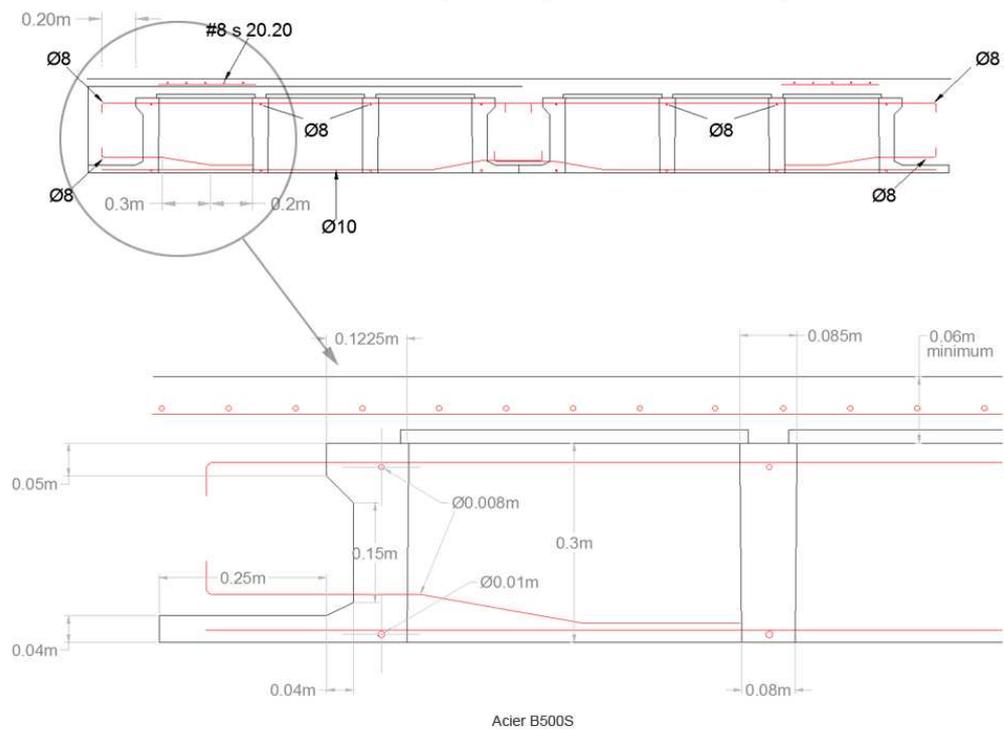
Fibre de verre

- Teneur minimum en $ZrO_2 > 15\%$.
- Longueur de la fibre : 36 mm.
- Perte au feu = 2 %.
- Filaments unis formant des fils.
- Diamètre du filament = 14 μ
- Masse linéaire (g/km) = 2.450 Tex.
- Densité = 2.68 g/cm³
- Allongement à la rupture du fil = 4,5 %.
- Module de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Résistance à la traction du fil (Nw/mm²) (MPa) > 1.700 MPa
- Résistance à la traction du Filament Vierge = 3.500 MPa

Finalement, l'acier sera certifié du type B500S.

4.- ARMATURES, ANCRAGES ET DALLE DE COMPRESSION

Détail armature dalle préfabriquée et dalle de compression

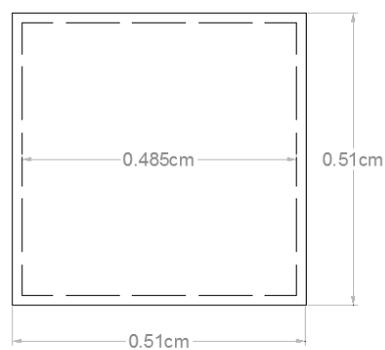


5.- PRÉDALLES OU CAISSONS

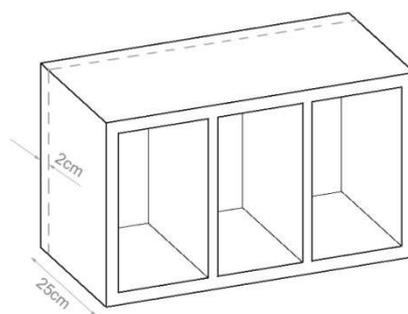
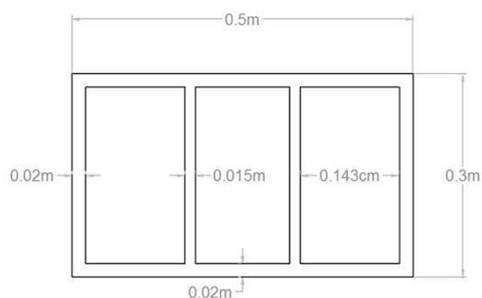
Prédalle



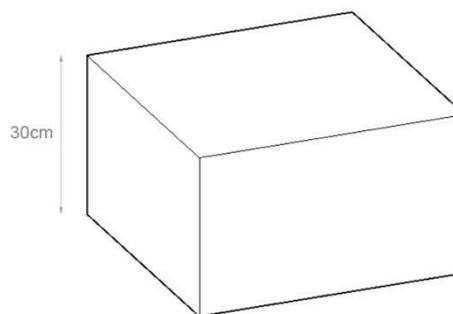
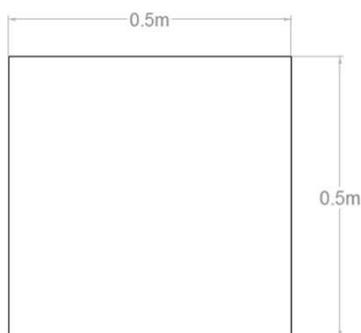
Sur plan



Caisson
(beton)



Caisson
(EPS)



6.- POIDS

Calculer selon ajustage géométrique. (Voir logiciel ci-joint)

7.- EFFORTS MAXIMAUX POUR L'OURDIS PRÉFABRIQUÉ PAR MÈTRE CARRÉ DE LARGEUR

L'ingénieur calculeur devra vérifier que la combinaison d'efforts sans majorer pour la dalle préfabriquée ne dépasse pas les suivantes valeurs de **sollicitations**.

VALEURS MAXIMALES DE SOLLICITATION AUX NERFS DU PÉRIMÈTRE D'UNION AVEC POUTRES ET POUTRELLES

	Moment maximum positive, (m·kp/m)	Moment maximum négative, (m·kp/m)	Cisaillement, (kp/m)
FDSC-30-R	4 615,00	7 400,00	24480

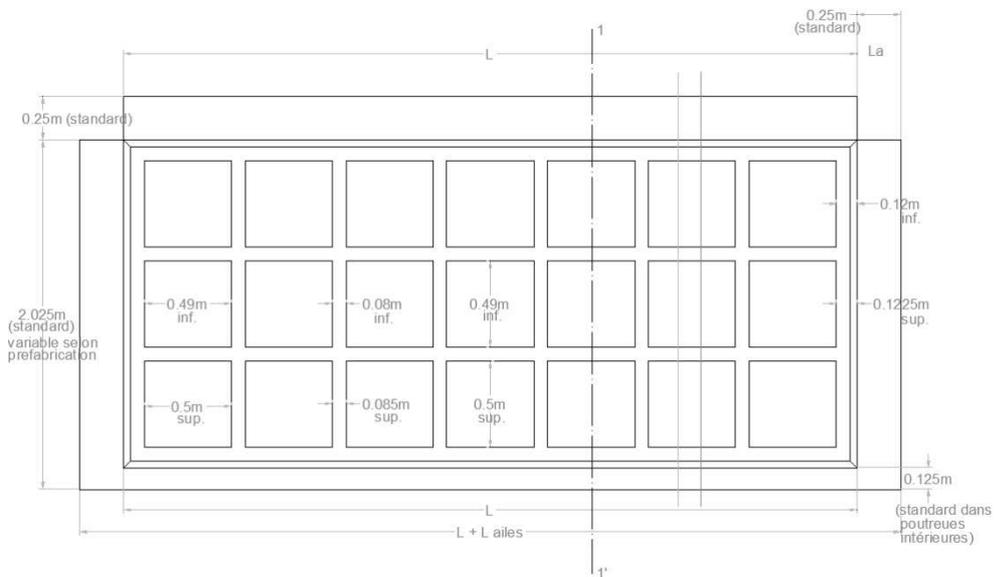
VALEURS MAXIMALES DE SOLLICITATION AUX NERFS INTÉRIEURS

	Moment maximum positive, (m·kp/m)	Moment maximum négative, (m·kp/m)	Cisaillement, (kp/m)
FDSC-30-R	2 640,00	6 000,00	17820

Hourdis FDSC-35-R

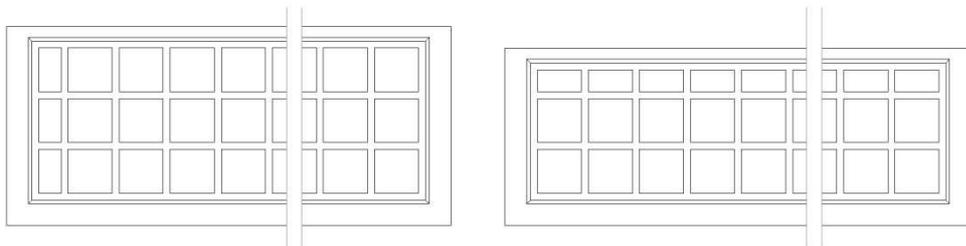
1.- GÉOMÉTRIE

Sur plan

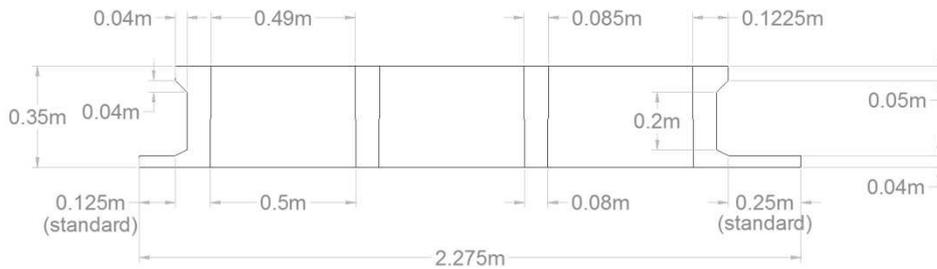


La dimension des ailes pourront être ajustées à ceue du périmètre exigée par l'hourdis

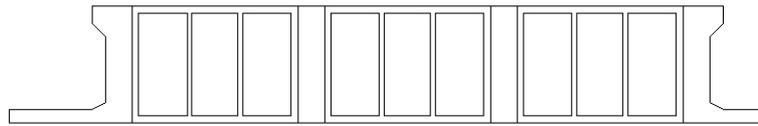
Solutions avec demi-caissons



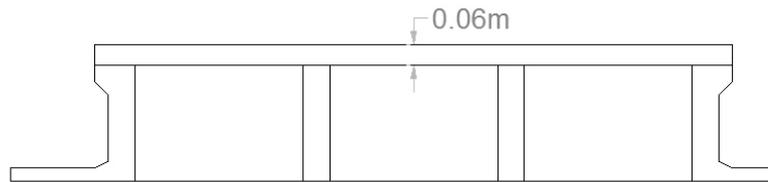
Section 1-1'



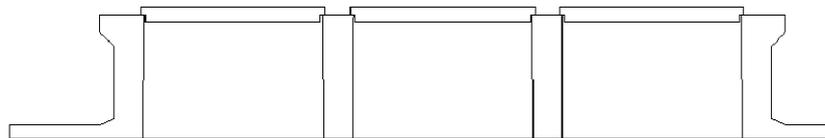
Choix avec caissons incorporés pendant préfabrication:



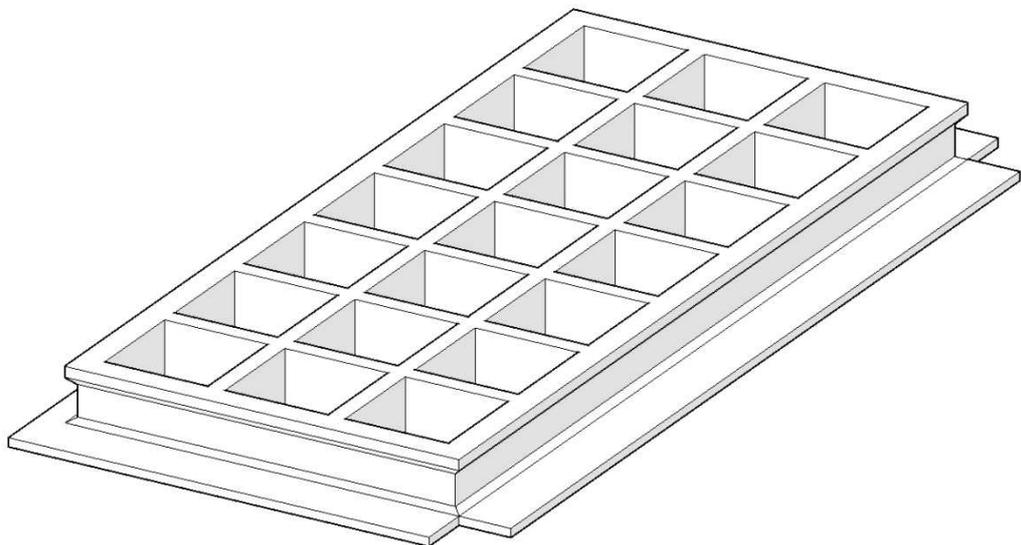
Choix dalle de compression incorporée:



Choix avec prédaues:

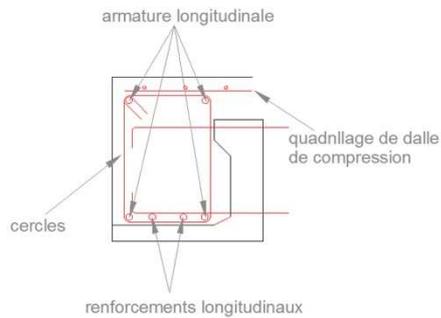


Vue 3D

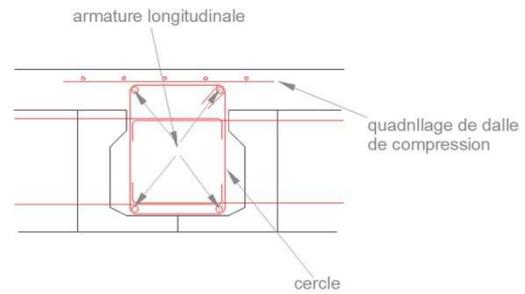


2.- POUTRES ET POUTRELLES

DÉTAIL ARMATURE POUTRE PÉRIMÈTRE



DÉTAIL ARMATURE POUTRELLE CENTRALE



3.- DOSAGE ET MATÉRIEAUX

Le béton à employer devra respecter le suivant dosage:

Arde	1700	Kg
Ciment 42.5 R	400	Kg, (teneur minimum)
Plastifiant	2,4	l
Fibre de verre 36 mm de longueur.	15	Kg
Fibre de verre 12 mm de longueur.	4	Kg
Eau	200	l (selon la teneur en ciment)

Arde:

Fraction grossière, 8/12 mm : 40%.

Fraction fine, 0/5 mm : 60%.

Les essais devront garantir une résistance caractéristique d'au moins 35 MPa et une résistance à traction-flexion de 5,5 MPa.

La fibre de verre devra respecter les prescriptions suivantes:

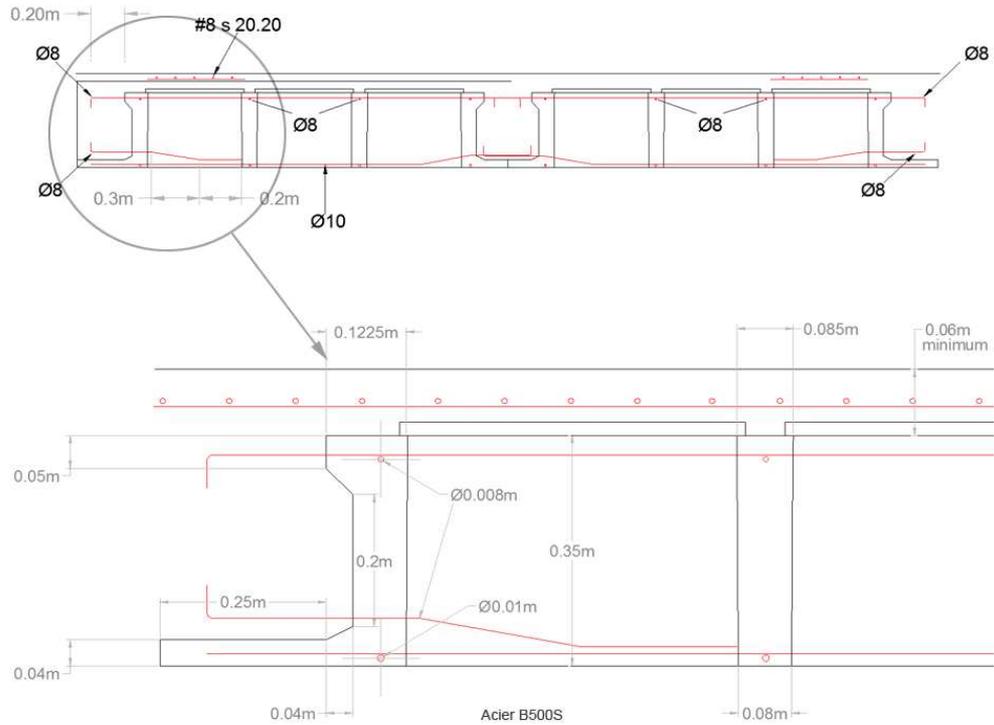
Fibre de verre

- Teneur minimum en ZrO₂ >15%.
- Longueur de la fibre : 36 mm.
- Perte au feu = 2 %.
- Filaments unis formant des fils.
- Diamètre du filament = 14 μ
- Masse linéaire (g/km) = 2.450 Tex.
- Densité = 2.68 g/cm³
- Allongement à la rupture du fil = 4,5 %.
- Module de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Résistance à la traction du fil (Nw/mm²) (MPa) > 1.700 MPa
- Résistance à la traction du Filament Vierge = 3.500 MPa

Finalement, l'acier sera certifié du type B500S.

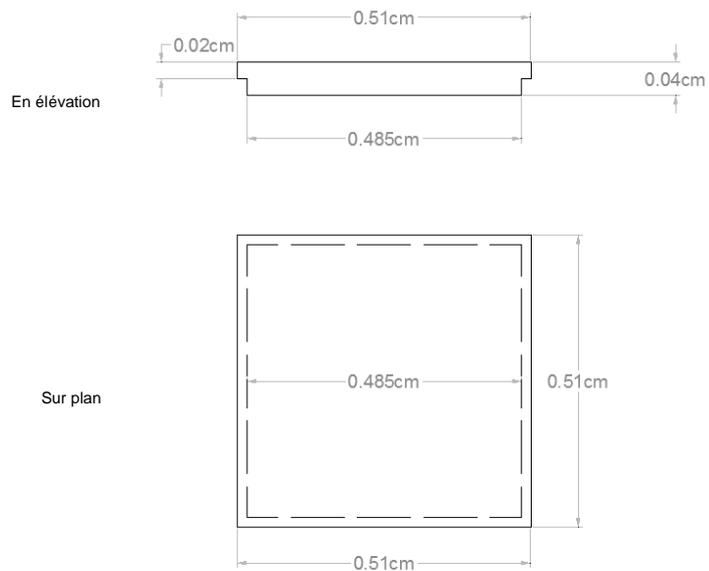
4.- ARMATURES, ANCRAGES ET DALLE DE COMPRESSION

Détail armature dalle préfabriquée et dalle de compression

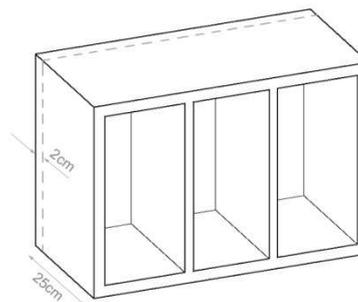
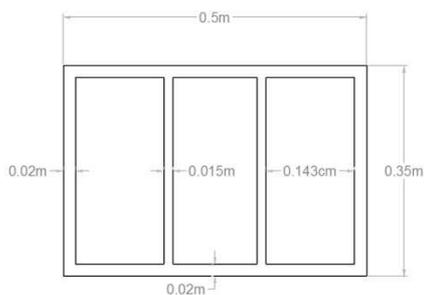


5.- FILIGREE SLABS OR WAFFLE BLOCKS

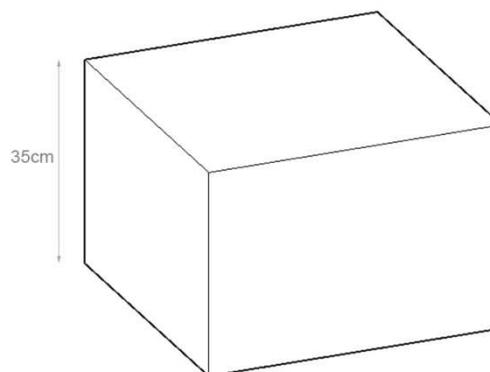
Prédalle



Caisson
(beton)



Caisson
(EPS)



6.- POIDS

Calculer selon ajustage géométrique. (Voir logiciel ci-joint)

7.- EFFORTS MAXIMAUX POUR L'OURDIS PRÉFABRIQUÉ PAR MÈTRE CARRÉ DE LARGEUR

L'ingénieur calculeur devra vérifier que la combinaison d'efforts sans majorer pour la dalle préfabriquée ne dépasse pas les suivantes valeurs de sollicitations.

VALEURS MAXIMALES DE SOLLICITATION AUX NERFS DU PÉRIMÈTRE D'UNION AVEC POUTRES ET POUTRELLES

	Moment maximum positive, (m·kp/m)	Moment maximum négative, (m·kp/m)	Cisaillement, (kp/m)
FDSC-35-R	5 950,00	9 230,00	25980

VALEURS MAXIMALES DE SOLLICITATION AUX NERFS INTÉRIEURS

	Moment maximum positive, (m·kp/m)	Moment maximum négative, (m·kp/m)	Cisaillement, (kp/m)
FDSC-35-R	3 525,00	7 675,00	20460

CHAP 4. MURS DE CAISSONS RÉUTILISABLES



CHAP 4.

MURS DE CAISSONS RÉUTILISABLES

PARTIE 1. INTRODUCTION.

Cette solution permet une construction très rapide, rigide et stable pour poussées de terres de hauteurs petites ou grandes.

Les principaux avantages de cette solution sont:

- Construction rapide.
- Optimisation de matériaux due à l'emploi de terres pour le remplissage des caissons.
- Grande rigidité qui garantit moins de déformations du mur.
- Occupation plus petite dans la partie postérieure.

Les murs de caissons réutilisables permettent d'aborder des nouvelles solutions pour implanter des structures alternatives aux terre-pleins traditionnels. Cette solution réduit radicalement l'occupation d'espace due aux expropriations.

Par rapport aux solutions préfabriquées traditionnelles, les murs de caissons réutilisables présentent les avantages suivants:

- Rigidité largement supérieure à celle des murs de terre armée.
- Il n'y a pas besoin d'avoir une grande largeur de remplissage dans la partie postérieure, ce qui permet de stabiliser des talus de déblai dans des côtés d'infrastructures.
- Le béton armé avec fibre de verre sans fissures garantit la durabilité de cette **solution**.
- Il n'y a pas besoin de connecteurs.
- Il n'y a pas besoin de feuillards ou treillages dans la partie postérieure.
- La stabilité au basculement et au glissement est garantie module à module ainsi que sur la base.

Cette solution met en évidence les prix hautement compétitifs par rapport aux murs préfabriqués ou exécutés in situ et son montage très rapide constitue son avantage principal.

Le transport des pièces est aussi facile et il se fait en adaptant les dimensions des pièces à celles du camion.

PARTIE 2. GÉOMÉTRIES ET FORMATS.

On considère un format unique pour les murs de caissons réutilisables:

- Mur de caissons réutilisables : CCW

Le mur fonctionne par contact entre les pièces comme on décrit dans le processus de calcul.

Au même temps, on considère 5 tailles possibles dans la géométrie des murs CCW:

Pour chacun des modules, les tailles sont désignées grâce aux lettres A à E comme suit:

- Module CCW- A : profondeur 1,25 m. Code du produit : CCW- A
- Module CCW- B : profondeur 2 m. Code du produit : CCW- B
- Module CCW- C : profondeur 2,75 m. Code du produit : CCW- C
- Module CCW- D : profondeur 3,5 m. Code du produit : CCW- D
- Module CCW- E : profondeur 4,25 m. Code du produit : CCW- E



Image 55. Murs de caissons réutilisables.

Les modules type CCW ont 2x2 m dans la face antérieure et postérieure et la profondeur est indiquée ci-dessous avec les lettres A à E. Tout module, excepté le module A, est divisé à l'intérieur et comporte un seuil touchant la partie postérieure du caisson avec 65 cm de profondeur divisé par un petit mur. Ce mur et les murs du contour ont 12 cm d'épaisseur à la base et 8 cm à la partie supérieure. Tout module est fermé à la base avec une dalle de 10 m dès où il y a des rabats ou butoirs de 5 cm de profondeur qui font contact avec le module antérieur.

Les murs CCW ont été vérifiés pour des poussées de terres de jusqu'à 10 m de hauteur et ils ont l'avantage de ne pas requérir de béton d'union entre modules puisqu'ils fonctionnent simplement par contact.

L'union entre les caissons se fait par contact; ces contacts se produisent de la façon suivante:

- de la base du caisson sur la terminaison des murs de contour et sur le mur intérieur du seau postérieur du caisson inférieur (contact vertical).
- des rabats avec le mur antérieur du seau et aussi avec le mur du seau postérieur. Parfois avec le mur de la partie postérieure (contact horizontal).

Pour recevoir le caisson supérieur et afin d'éviter contacts durs, on appliquera mortier de 1 cm d'épaisseur sur la terminaison du mur inférieur.

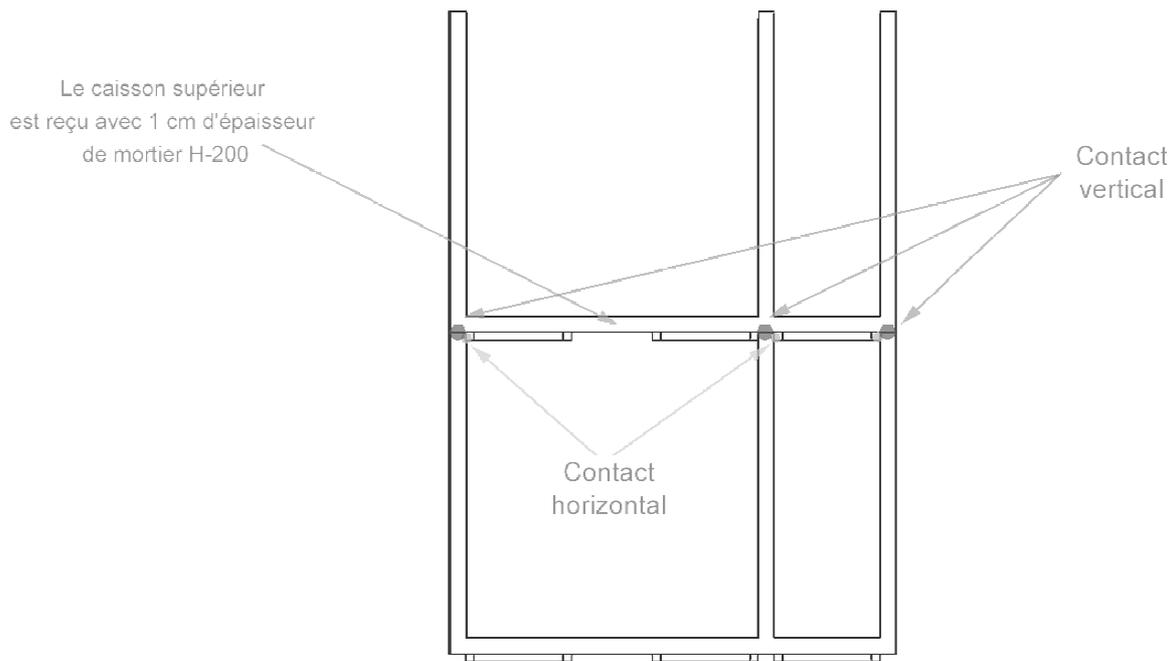


Image 56. Contact entre caissons.

Un des principaux avantages des murs est la possibilité de décaler les modules par rapport aux inférieurs, ce qui augmente le moment stabilisateur.

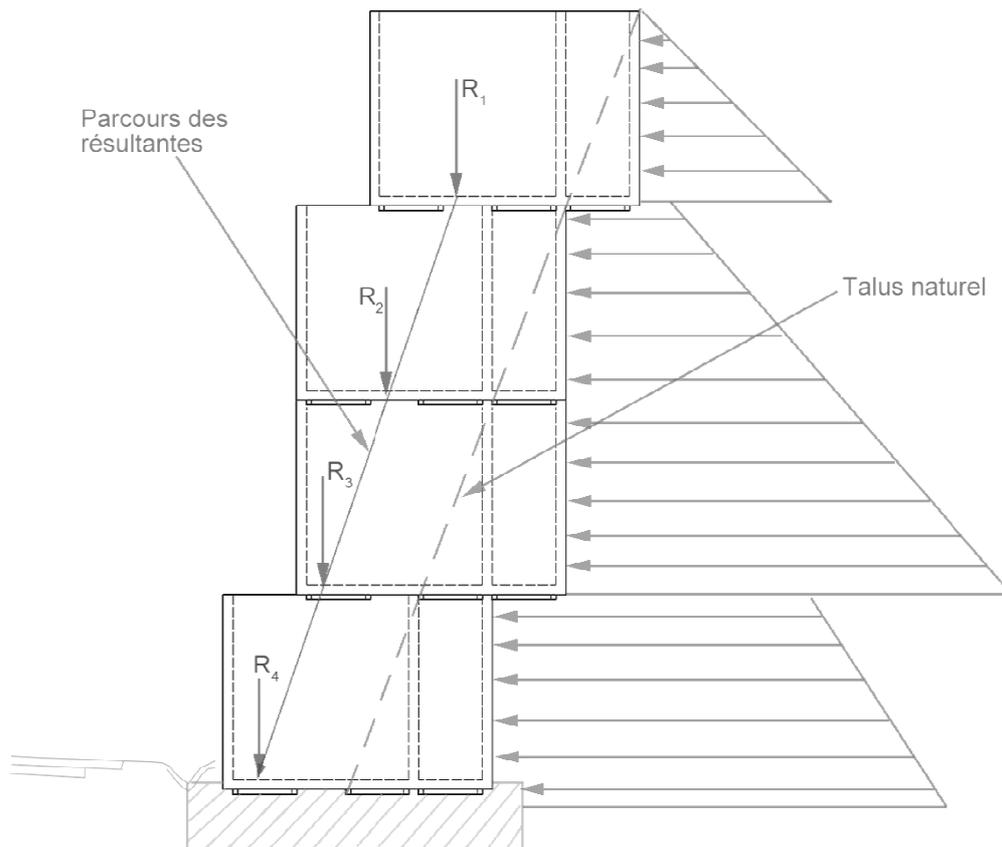


Image 57. Stabilité caisson à caisson, sans basculement intermédiaire ou dans la base. Les modules sont décalés.

Les décalages possibles entre les murs sont donnés par la table suivante:

Mesures caissons	L (m)	H (m)	D1 (m)	D2 (m)	D3 (m)	D4 (m)
CCW-A	1.25	1.05				
CCW-B	2.00	1.05	0.5			
CCW-C	2.75	1.80	0.1	0.5		
CCW-D	3.50	2.55	0.1	0.3	0.3	
CCW-E	4.25	3.30	0.1	0.23	0.24	0.23

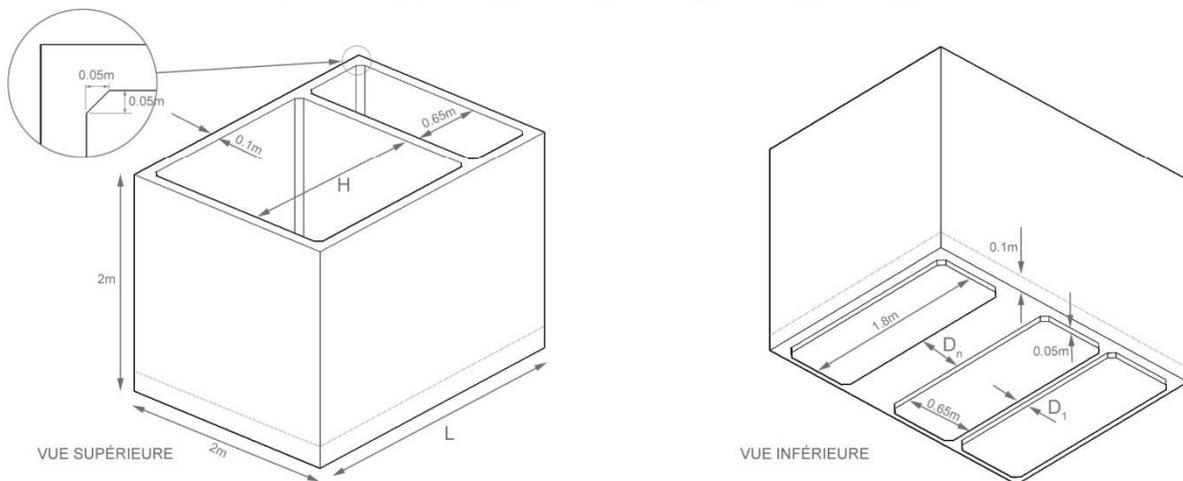


Image 58. Caissons de béton 2x2 m et décalages possibles entre eux.

DÉCALAGES POSSIBLES									
D-E	2.65	1.77	0.88		E-D	3.40	2.45	1.50	0.75
D-D	2.65	1.70	0.75		D-D	2.65	1.70	0.75	
C-D	1.90	0.95			D-C	2.65	1.50	0.75	
C-C	1.90	0.75			C-C	1.90	0.75		
B-C	1.15				C-B	1.90	0.75		
B-B	1.15				B-B	1.15			
A-B					B-A				
A-A					A-A				

* La lettre à gauche de chaque couple correspond au caisson inférieur.

Table 4-1. Décalage des différentes combinaisons de caissons.

Finalement, l'emploi de ces caissons dans de terre-pleins peut se faire avec un module de plus largeur à la base et de moins largeur à la partie supérieure. En plus, quand on place des murs à deux côtés du terre-plein, il est possible de tendre les murs d'un côté avec ceux de l'autre côté, ce qui permettra d'employer modules moins larges et ancrage des tirants grâce au remplissage des seaux avec du béton. Il ne faut pas situer ces ancrages dans tous les hauteurs ni dans tous les modules.

De la même façon, il est possible d'introduire plateaux ancrés dans le seau postérieur pour améliorer la stabilité.

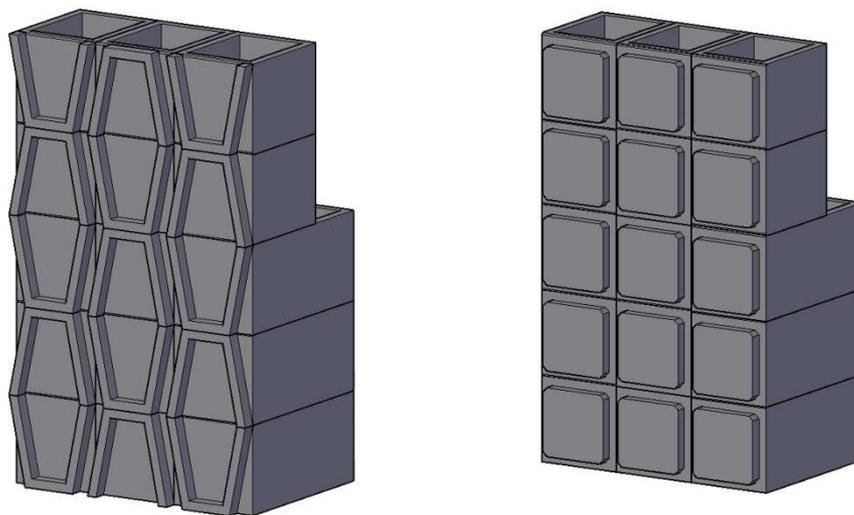


Image 59. Chevauchement de modules pour constituer les murs dans des zones de remplissage ou terre-plein.

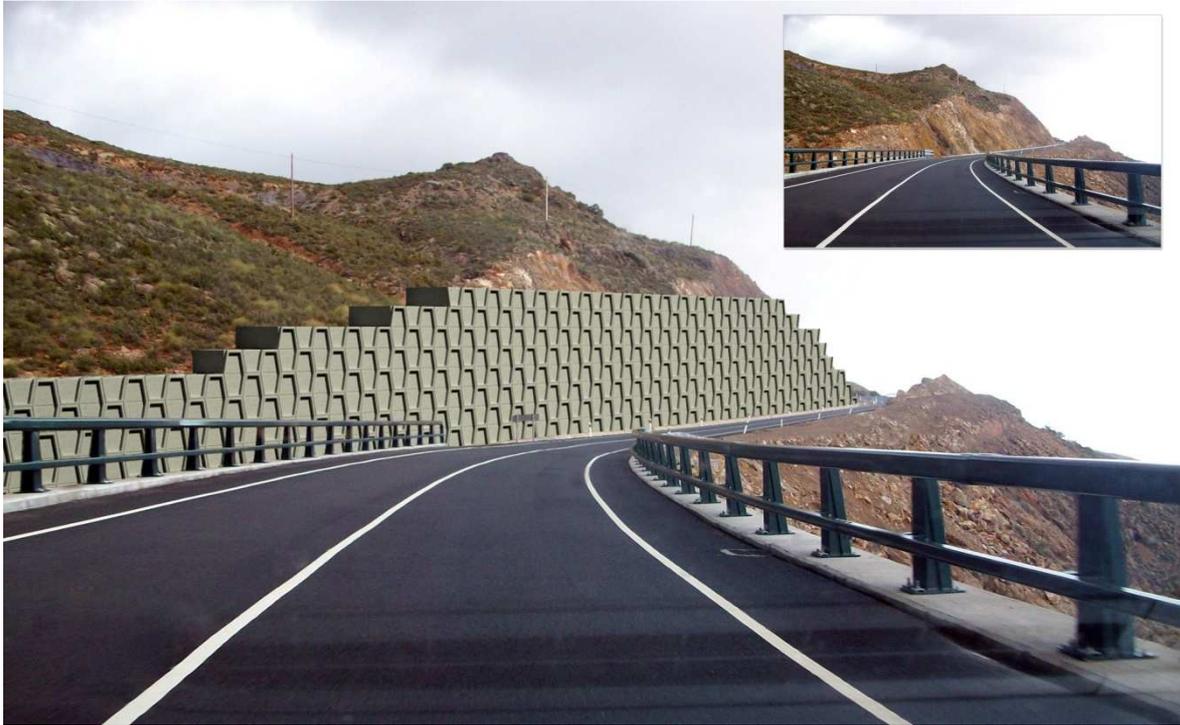


Image 60. Protection de talus de déblai avec des murs de caissons réutilisables

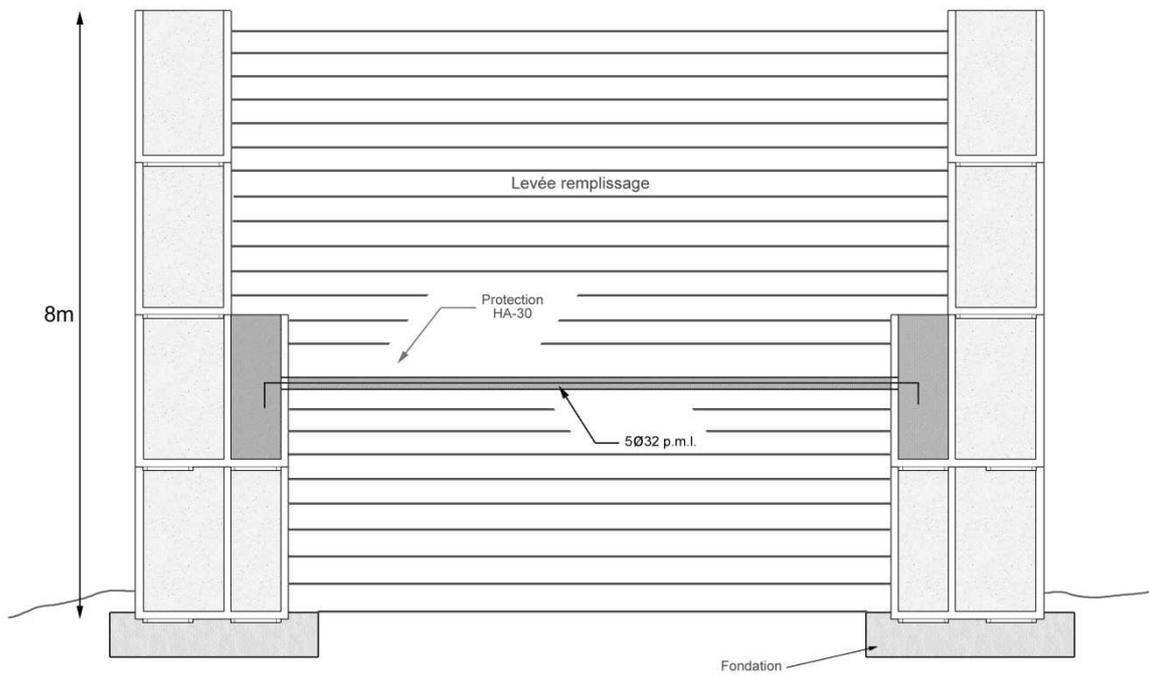


Image 61. Haubanage intermédiaire pour optimiser les murs.

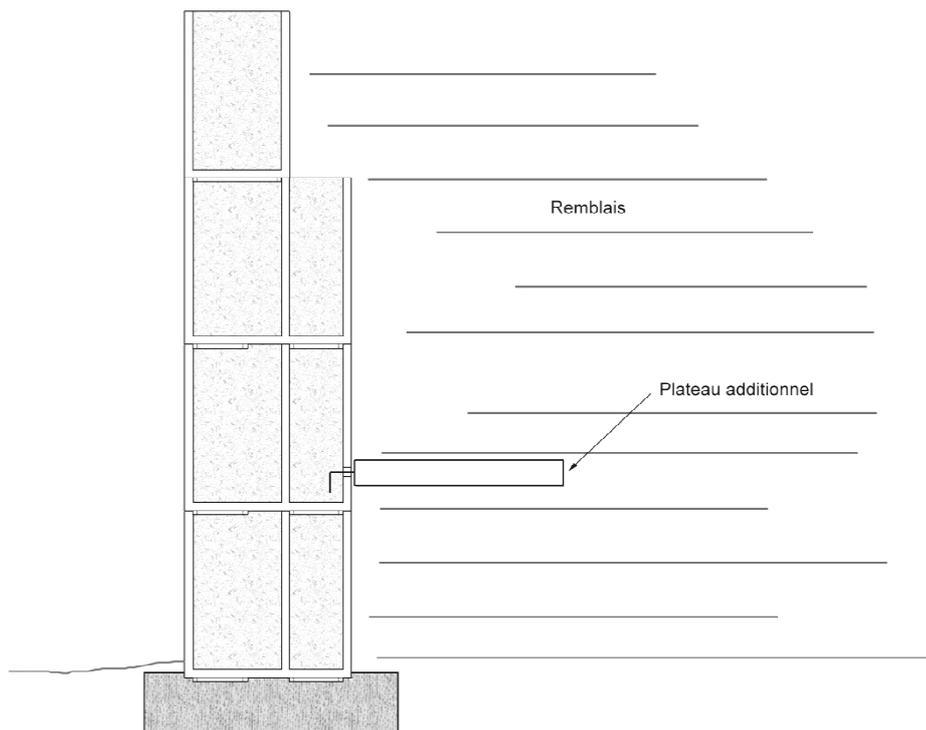


Image 62. Emploi de plateaux intermédiaires pour améliorer la stabilité.

PARTIE 3. MATÉRIAUX

Le béton à employer devra respecter le suivant dosage:

Granulat	1.760 Kg
Ciment 42.5 R	360 Kg (teneur minimum)
Plastifiant	2 l
Fibre de verre 36 mm de longueur.	18 Kg
Eau	180 l (selon la teneur en ciment)

Granulat:

Fraction grossière, 8/12 mm : 40%.

Fraction fine, 0/5 mm : 60%.

Les essais devront garantir une résistance caractéristique d'au moins 30 MPa et une résistance à traction-flexion de 5,0 MPa.

Optionnellement, on pourra utiliser béton sans fibres à condition de garantir les valeurs antérieures de résistance. Dans ce cas-là, on utilisera des treillis d'acier d'un minimum de ϕ 6 s15.15.

Fibre de verre

La fibre de verre devra respecter les prescriptions suivantes:

- Teneur minimum en $ZrO_2 > 15\%$.
- Longueur de la fibre: 36 mm.
- Perte au feu = 2 %.
- Filaments unis formant des fils.
- Diamètre du filament = 14 μ
- Masse linéaire (g/km) = 2.450 Tex.
- Densité = 2,68 g/cm³
- Module de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Module de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Résistance à la traction du fil (Nw/mm²) (MPa) > 1.700 MPa
- Résistance à la traction du Filament Vierge = 3.500 MPa

PARTIE 4. CONTRÔLE DE QUALITÉ.

Les essais correspondants seront appliqués au lieu de fabrication pour contrôler rigoureusement les bétons, conformément la normative nationale pour chaque cas.

Chacun des lots devra comprendre les essais vérificateurs de la résistance caractéristique du béton et la résistance à traction-flexion ainsi comme d'autres qui soient prescrits par les instructions correspondantes.

Les lots de béton ne dépasseront pas les limites supérieures suivantes:

Surface de mur construit: 300 m².

Temps de bétonnage: 2 semaines.

La fibre de verre comprendra un certificat de qualité.

Le fabricant livrera le plan de contrôle fait dans le lieu de fabrication et les essais correspondants au contrôle des murs livrés.

PARTIE 5. SOLUTIONS CONSTRUCTIVES

Le projeteur déterminera la combinaison de modules la plus adéquat et optimal pour la poussée de terres à soutenir.

En ce qui concerne à la finition du mur, on apporte les suivantes solutions:

- stalactites.
- cadres.
- losanges.
- strates.
- finition avec maçonnerie.



Image 63. Solutions constructives pour finitions de la face antérieure.

PARTIE 6. PROCESSUS CONSTRUCTIF.

Pour les solutions de caissons réutilisables, le processus constructif et les rendements se justifient par les données suivantes:

- les modules peuvent se transporter avec un poids lourds articulé ; le total de modules par voyage pourra varier entre 3 (pour les modules de 4,25 m de profondeur) et 12 (pour les modules de 1,25 m).
- l'emplacement des modules peut se faire avec un camion grue à tonnelage ample ou avec une grue (plus recommandable si les hauteurs sont grandes et s'il s'agit de caissons plus grandes).
- l'emplacement des modules (depuis les véhicules de transport) en les situant sur le fondement ou sur une rangée de modules déjà situés doit avoir un rendement de 4 pièces par heure pour le module type A et 8 pièces par heure pour le module type E.
- le remplissage des modules peut se faire avec un rendement d'aux peu près 12 pièces par heure, quand on n'a pas besoin de compactage de terres et 6 pièces par heure quand on a besoin de compactage (modules type E). Pour un module type A, les rendements considérés sont 24 pièces par heure, sans compactage et 12 pièces par heure avec compactage. Les rendements par module peuvent donc être estimés comme suit :
- l'application du mortier doit avoir un rendement moyen de 8 pièces par heure par ouvrier pour les modules de 1,25 m et 4 pièces par heure pour les modules plus grands que 4,25 m.

Si l'on considère la réparation d'un talus de déblai à côté d'une route ayant glissé préalablement, les phases d'exécution sont décrites par les images suivantes:

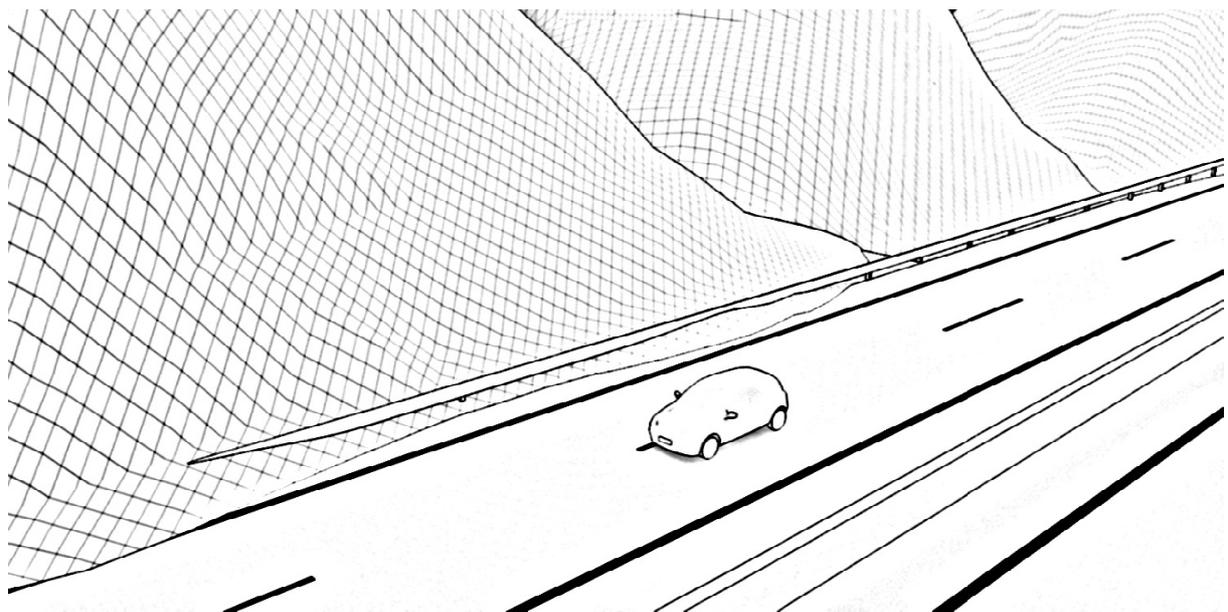


Image 64. Glissement du talus à côté de la route.

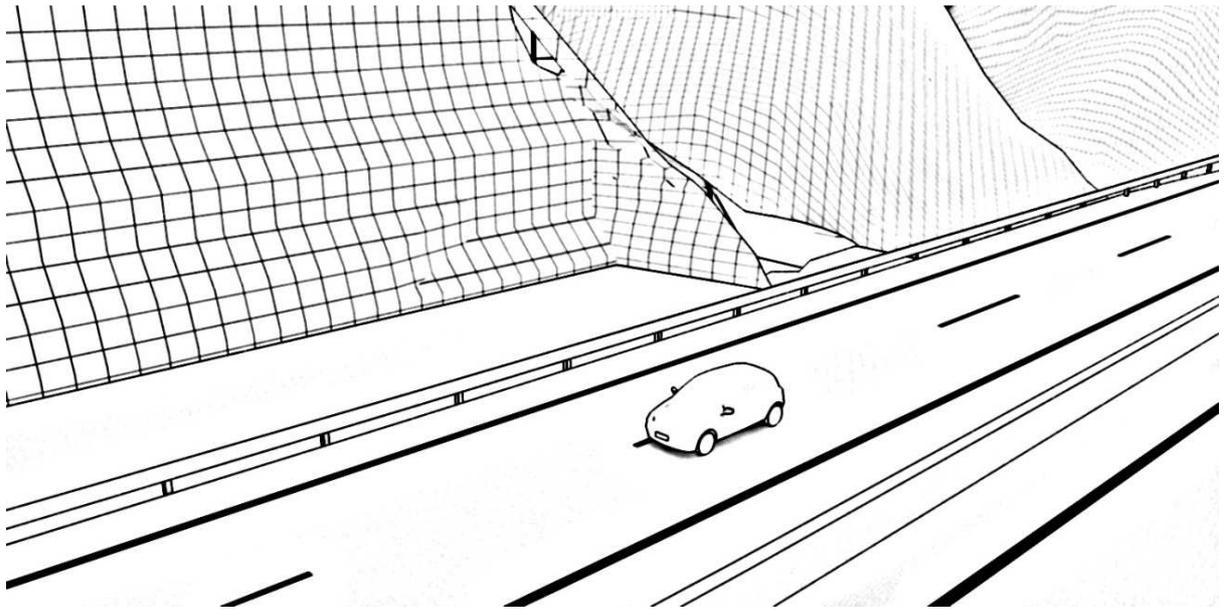


Image 65. Retrait du matériel glissé et remplissage avec béton en masse sur la base du mur. (Il peut se faire aussi avec des banches quand la stabilité ne soit pas garantie).

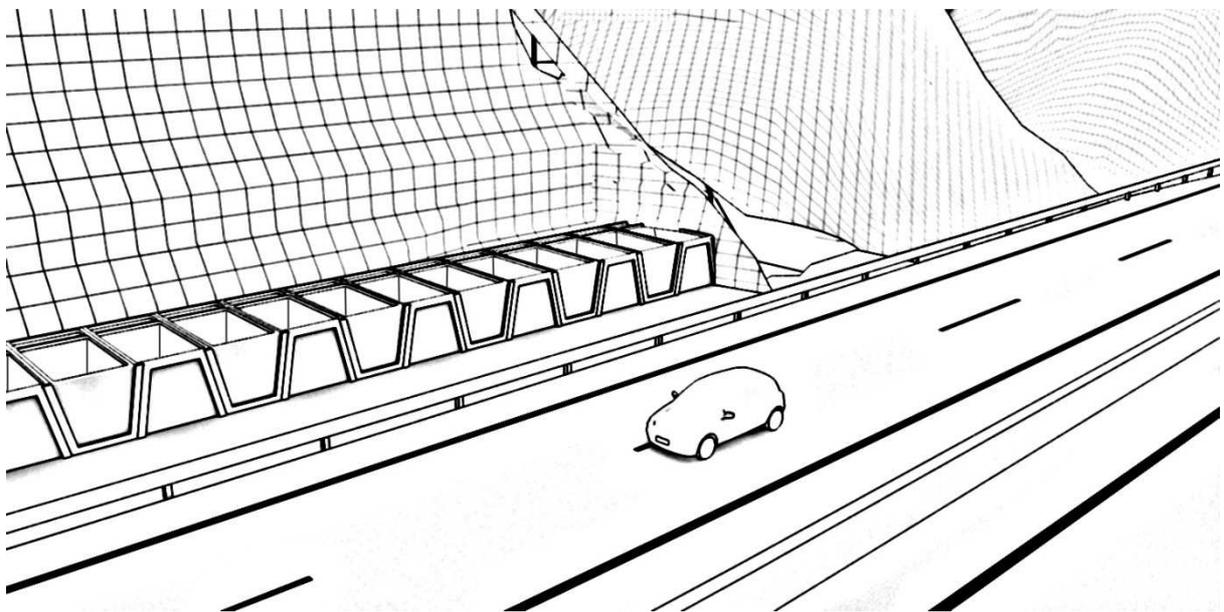


Image 66. Emplacement de la première rangée de murs.

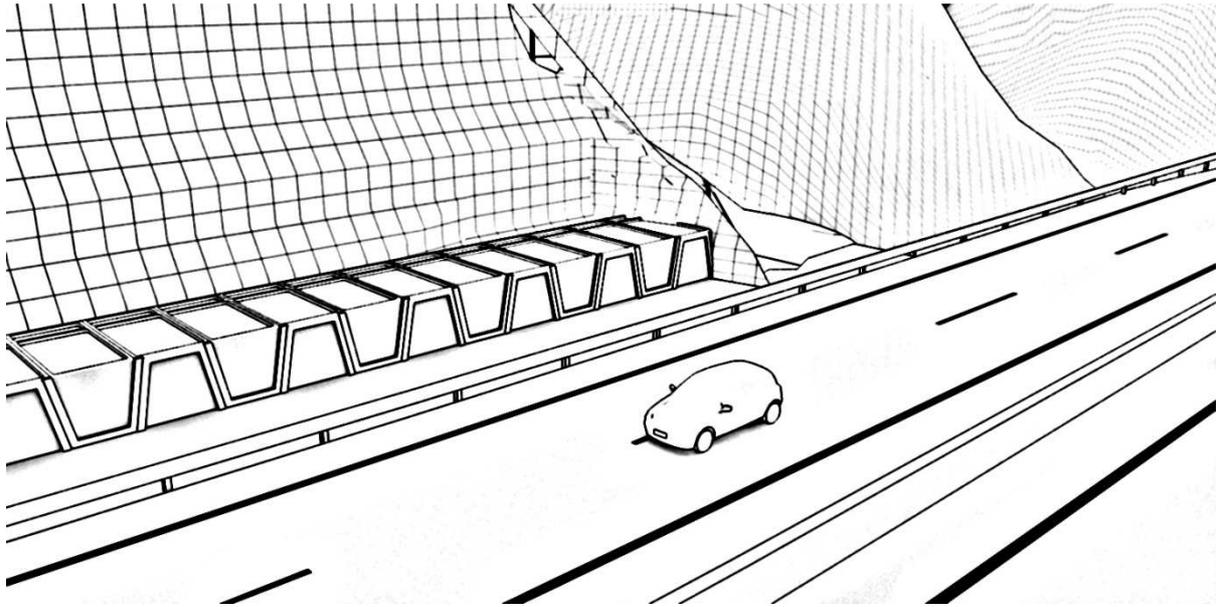


Image 67. Remplissage de la première rangée de murs.

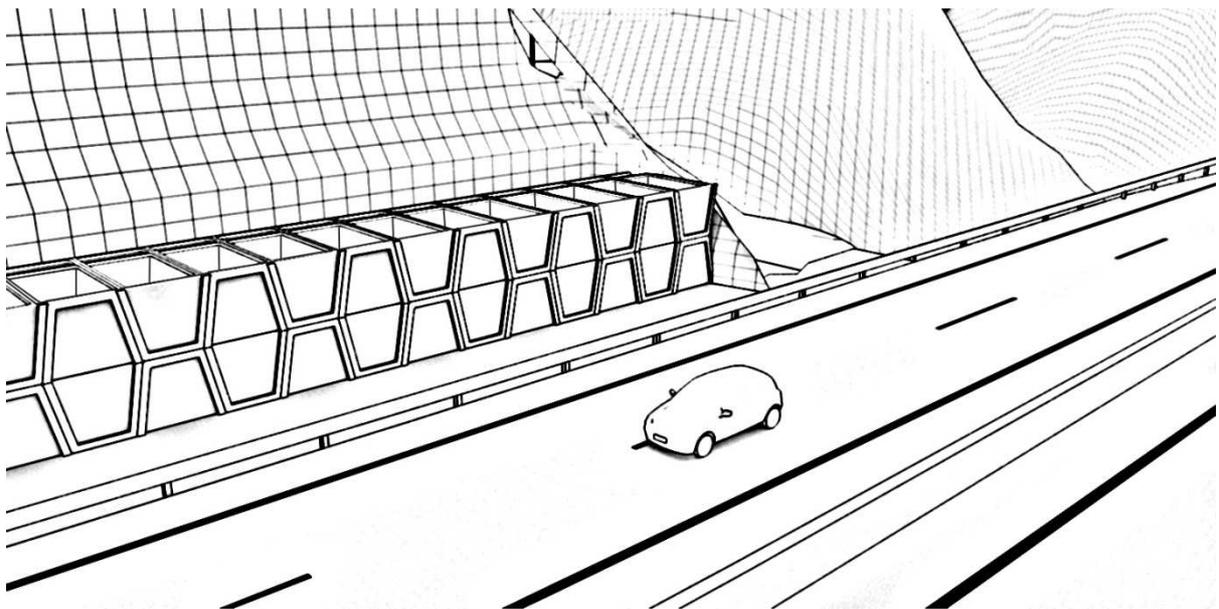


Image 68. Emplacement de la deuxième rangée de murs.

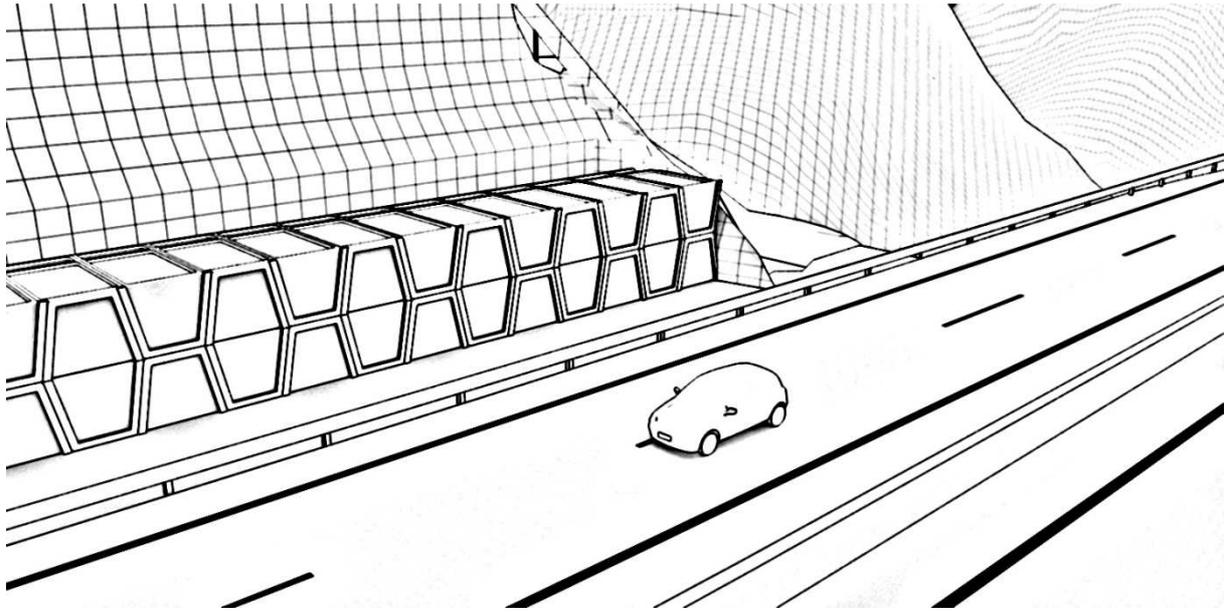


Image 69. Remplissage de la deuxième rangée de murs.

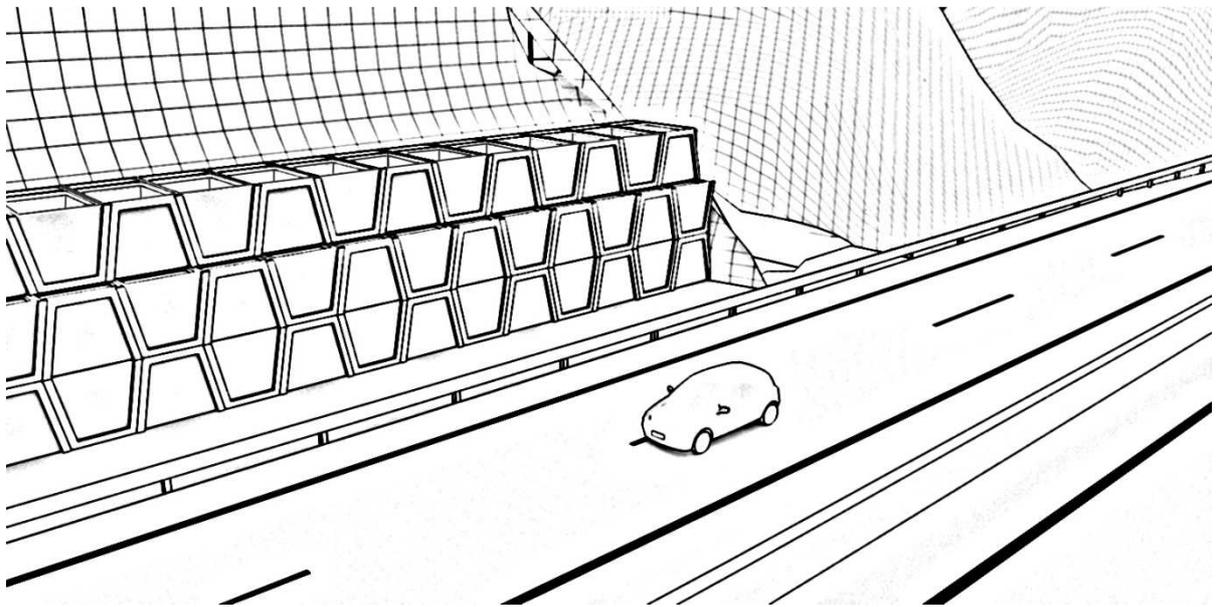


Image 70. Emplacement de la troisième avec décalage par rapport à la deuxième rangée.

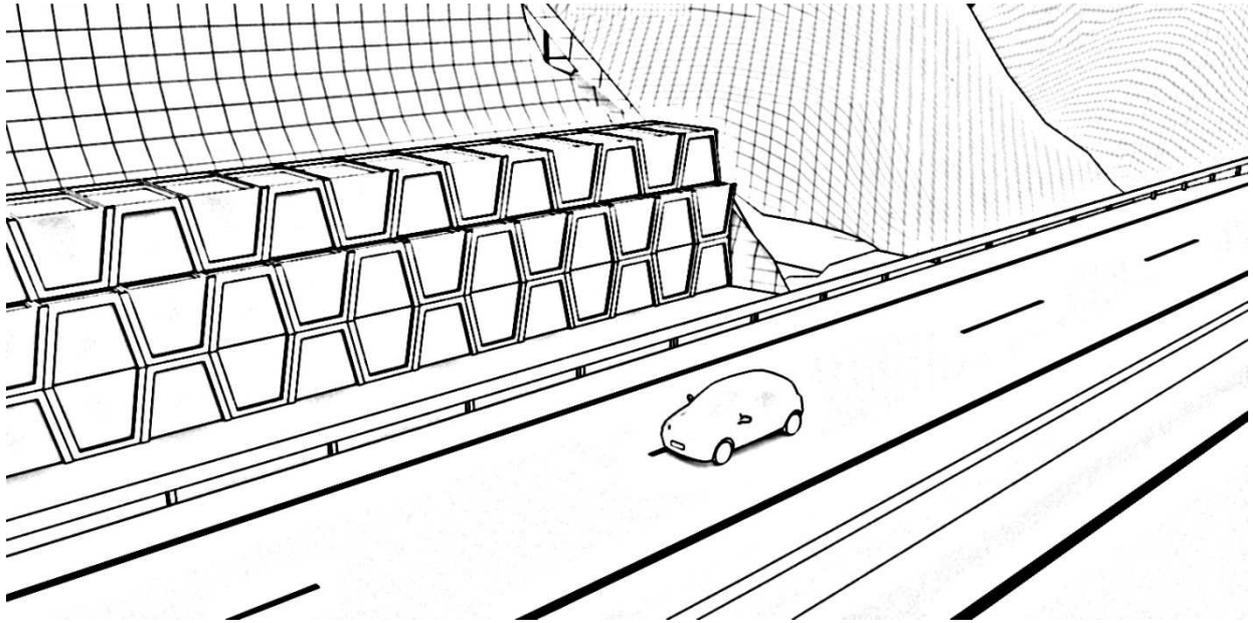


Image 71. Filling of the third line Remplissage de la troisième rangée de murs caissons

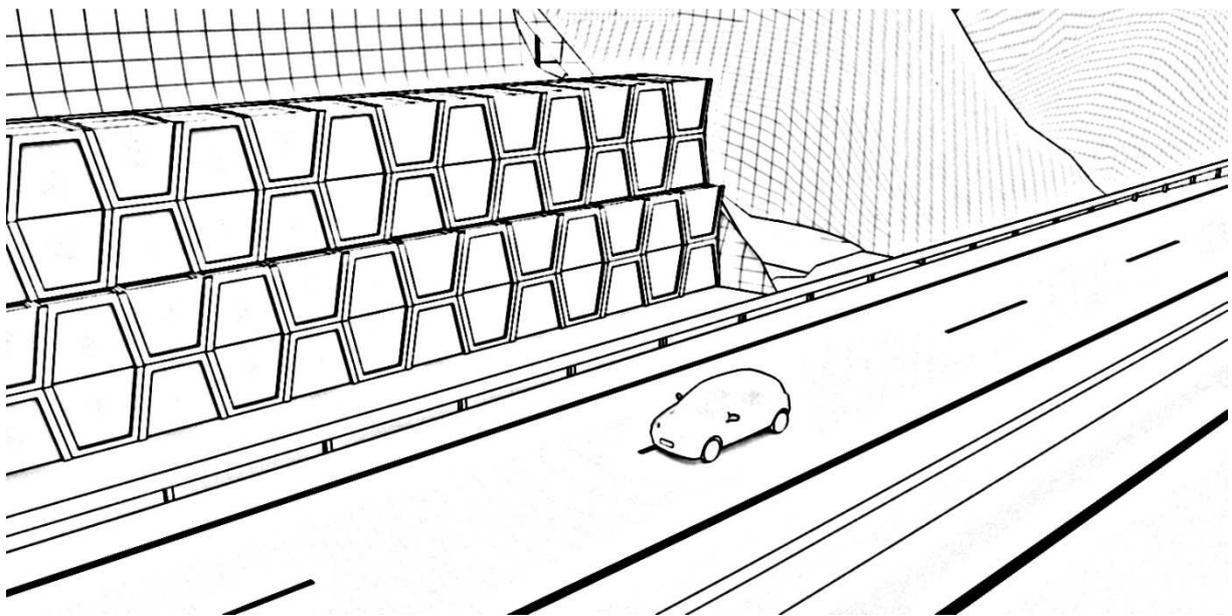


Image 72. Emplacement de la quatrième rangée de murs.

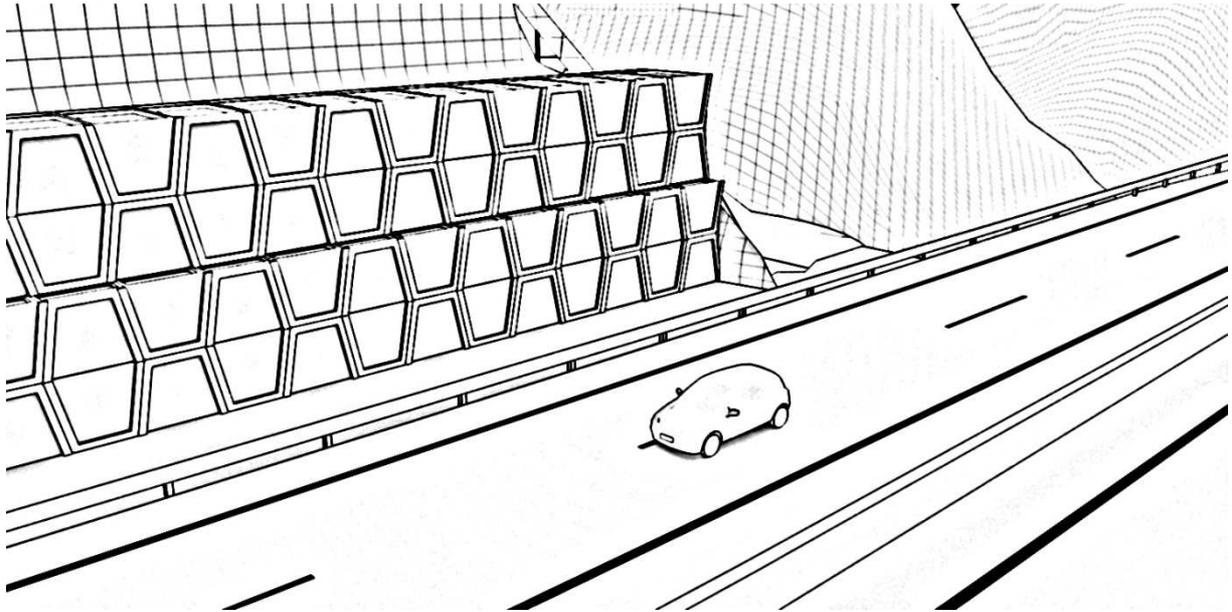


Image 73. Remplissage de la quatrième rangée.

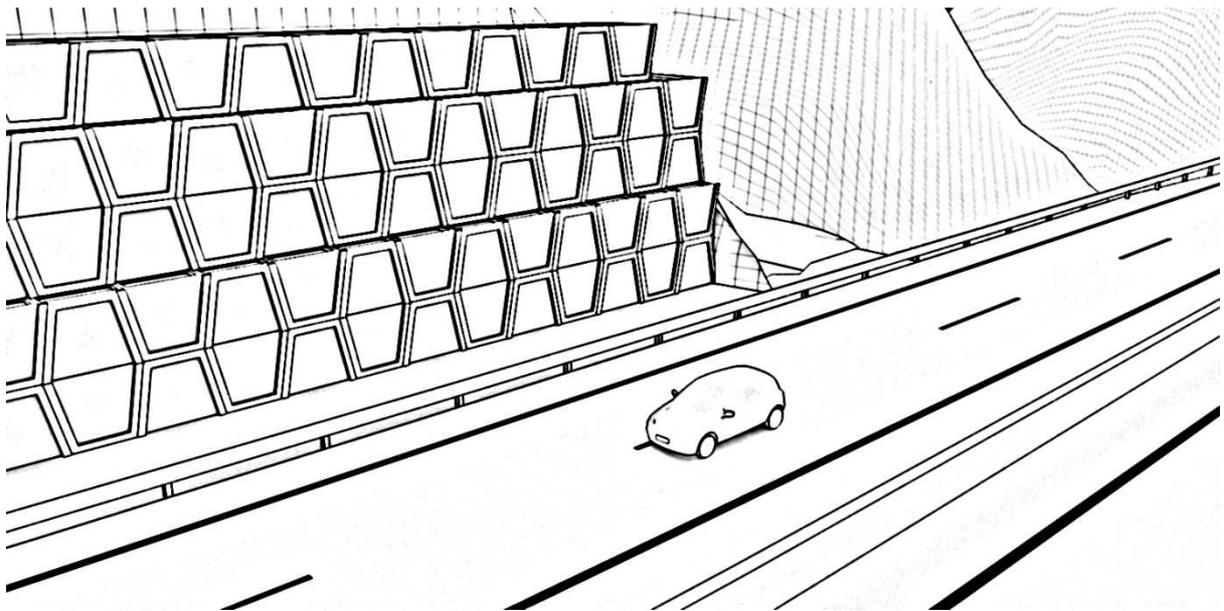
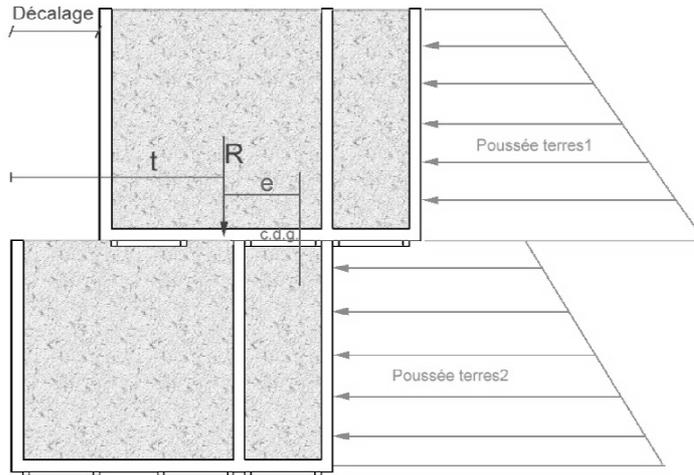


Image 74. Emplacement et remplissage de la dernière rangée avec décalage, (hauteur totale 10 m).

PARTIE 7. CALCUL STRUCTUREL.

Le modèle de calcul structurel est basé sur la considération des murs comme transmetteurs de leur réaction verticale dedans la base du caisson inférieur. Le fait de décentrer la force verticale se justifie par la poussée de terres qui le bras de levier du moment de flexion génère par rapport au centre de gravité.

Le décalage permet d'augmenter artificiellement le bras de levier du module supérieur par rapport à l'inférieur, renforçant donc la croissance du moment stabilisateur.



t = bras de levier généré par le décalage.

e = bras de levier par moment déstabilisateur généré par la poussée des terres.

R = réaction verticale sur le module inférieur

Image 75. Le décalage permet de recentrer la force verticale sur le caisson inférieur.

Quand un caisson est appuyé sur un autre, afin d'éviter le décollage dans le contact vertical, tous les points doivent être comprimés. Quand il n'y ait pas compression, il se produira le décollage des modules, qui se raccorderont partialement au côté frontal.

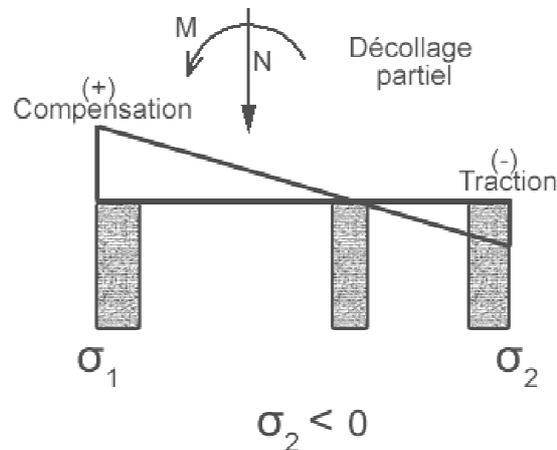


Image 76. Décollage entre modules de la partie postérieure.

Quand il se produit le décollage, s'il n'y a pas de décalage entre les murs, le contact sera comme suit:

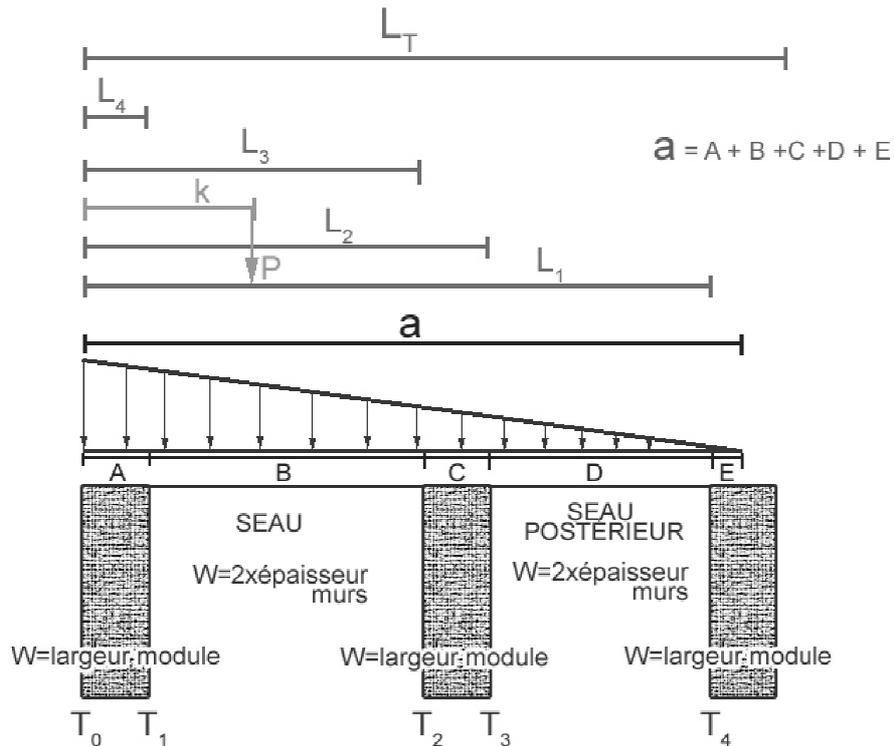


Image 77. Mécanisme de contact de caissons 2x2 quand il y a décollage.

À l'image antérieure, les caissons se raccordent dans une longueur a inférieure à la longueur totale du module L_T .

Les longueurs du graphique correspondent à:

L_1 = longueur totale du caisson moins l'épaisseur du mur de la partie postérieure.

L_2 = longueur du caisson moins l'épaisseur du mur de la partie postérieure et moins la longueur du seau postérieur.

L_3 = longueur L_2 moins l'épaisseur du mur intérieur du seau postérieur.

L_4 = épaisseur du mur du côté frontal.

T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 , ce sont les tensions qu'il y a dans les bords des murs des modules.

e , c'est l'épaisseur des murs.

En fonction de la valeur de a , on peut produire les situations suivantes:

Situation 1.

$$a > L_1,$$

Tensions: (T_0, T_1, T_2, T_3, T_4)

$$A = e$$

$$B = L_2 - e$$

$$C = e$$

$$D = L_1 - L_2$$

$$E = e - L_4 + a$$

$$T_1 = -T_0 L_4 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_3 = -T_0 L_2 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_2 = -T_0 L_3 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_4 = -T_0 L_1 (a)^{-1} + T_0$$

Situation 2.

$$L_1 > a > L_2,$$

$$\text{Tensions: } (T_0, T_1, T_2, T_3, T_4=0)$$

$$A=e$$

$$B=L_2-e$$

$$C=e$$

$$D=a-L_3$$

$$E=0$$

$$T_1 = -T_0 e (a)^{-1} + T_0$$

$$T_3 = -T_0 L_2 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_2 = -T_0 L_3 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_4 = 0$$

Situation 3.

$$L_2 > a > L_3$$

$$\text{Tensions: } (T_0, T_1, T_2, T_3=0, T_4=0)$$

$$A=e$$

$$B=L_2-e$$

$$C=a-L_2$$

$$D=0$$

$$E=0$$

$$T_1 = -T_0 e (a)^{-1} + T_0$$

$$T_3 = -T_0 L_2 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_2 = 0$$

$$T_4 = 0$$

Situation 4.

$$L_3 > a > L_4$$

$$\text{Tensions: } (T_0, T_1, T_2=0, T_3=0, T_4=0)$$

$$A=e$$

$$B=a-e$$

$$C=0$$

$$D=0$$

$$E=0$$

$$T_1 = -T_0 e (a)^{-1} + T_0$$

$$T_2 = 0$$

$$T_3 = 0$$

$$T_4 = 0$$

Situation 5.

$$a < L_4$$

$$\text{Tensions: } (T_0, T_1=0, T_2=0, T_3=0, T_4=0)$$

$$A=a$$

$$\begin{aligned}
B &= 0 \\
C &= 0 \\
D &= 0 \\
E &= 0 \\
T_1 &= 0 \\
T_2 &= 0 \\
T_3 &= 0 \\
T_4 &= 0
\end{aligned}$$

Dans chaque situation, l'équilibre de moments doit être respecté:

$$\begin{aligned}
&W \cdot T_1 \cdot A \cdot A \cdot 1/2 + (T_0 - T_1) \cdot 0,5 \cdot A \cdot A \cdot W \cdot 1/3 + T_2 \cdot 2e \cdot B \cdot (B/2 + e) + (T_1 - T_2) \cdot 0,5 \cdot (B/3 + e) \cdot \\
&\cdot 2e \cdot B + T_3 \cdot C \cdot W \cdot (L_3 + C/2) + (T_2 - T_3) \cdot 0,5 \cdot C \cdot W \cdot (C/3 + L_3) + T_4 \cdot D \cdot 2e \cdot (L_2 + D/2) + (T_3 - \\
&T_4) \cdot 0,5 \cdot D \cdot 2e \cdot (D/3 + L_2) + T_4/2 \cdot E \cdot W \cdot (E/3 + L_1) = M = P \cdot K
\end{aligned}$$

Dans chaque situation, l'équilibre de forces doit être également respecté:

$$(T_1 + T_2)/2 \cdot A \cdot W + (T_1 + T_2)/2 \cdot B \cdot 2 \cdot e + (T_2 + T_3)/2 \cdot e \cdot W + (T_3 + T_4)/2 \cdot D \cdot 2e + (T_4)/2 \cdot E \cdot W = P$$

Par itérations successives, on obtiendra la valeur de \underline{a} et, par conséquence, la valeur des tensions entre les modules.

Le contact déjà défini se produira quand le caisson supérieur soit d'une dimension égale ou supérieure que le caisson inférieur et quand il n'y ait pas de décalage. La zone de superposition entre les deux caissons va donc correspondre à la partie supérieure du caisson inférieur. On va dénommer cette situation: situation 1.

SITUATION 1 CONTACTS

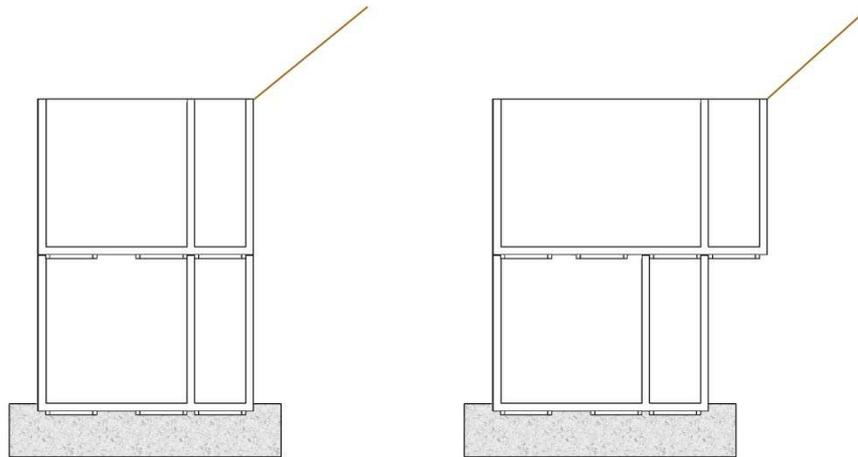


Image 78. Situation 1 de contacts.

Quand le caisson inférieur soit plus grand que le supérieur et il n'ait pas de décalage, la formule précitée et les états seront simplifiés, car T_3 et T_4 seront 0.

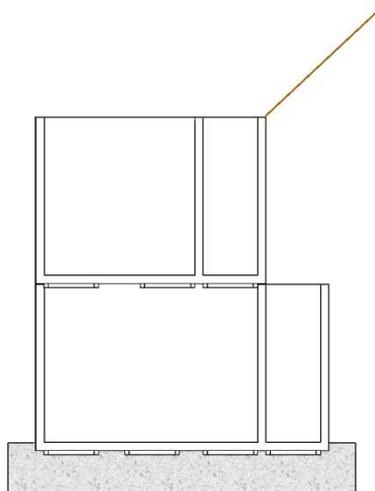


Image 79. Situation 2 de contacts.

Le troisième cas de contact est celui où il y a décalage entre caissons, (situation 3)

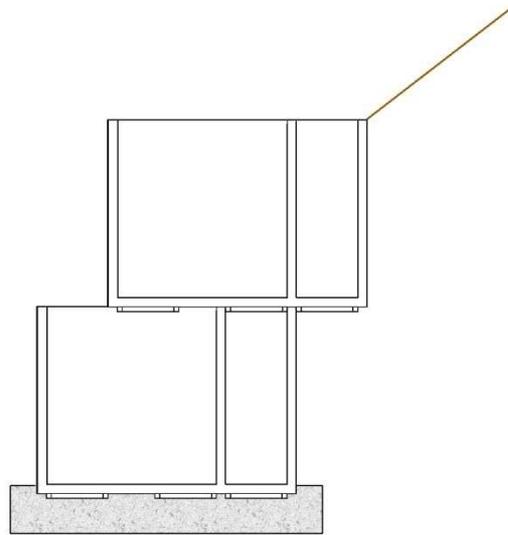


Image 80. Situation 3 de contacts.

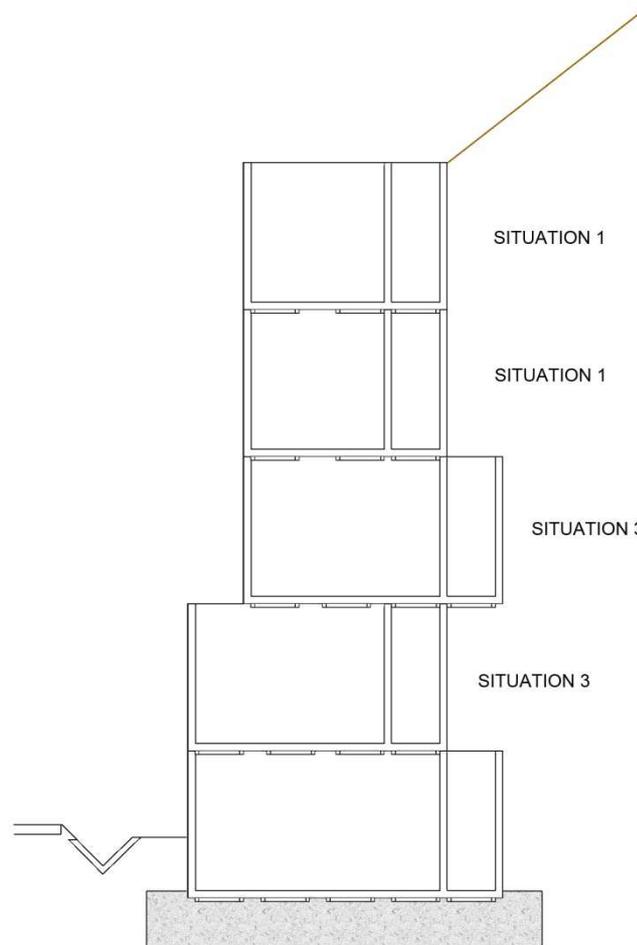


Image 81. Différentes situations de contacts dans un même mur.

S'il y a un décalage entre les caissons, on devra considérer deux situations:

- 1. Il y a un décollage dans la partie postérieure du caisson inférieur comme dans le cas antérieur. Dans ce cas, le diagramme de tensions à contact est le suivant:

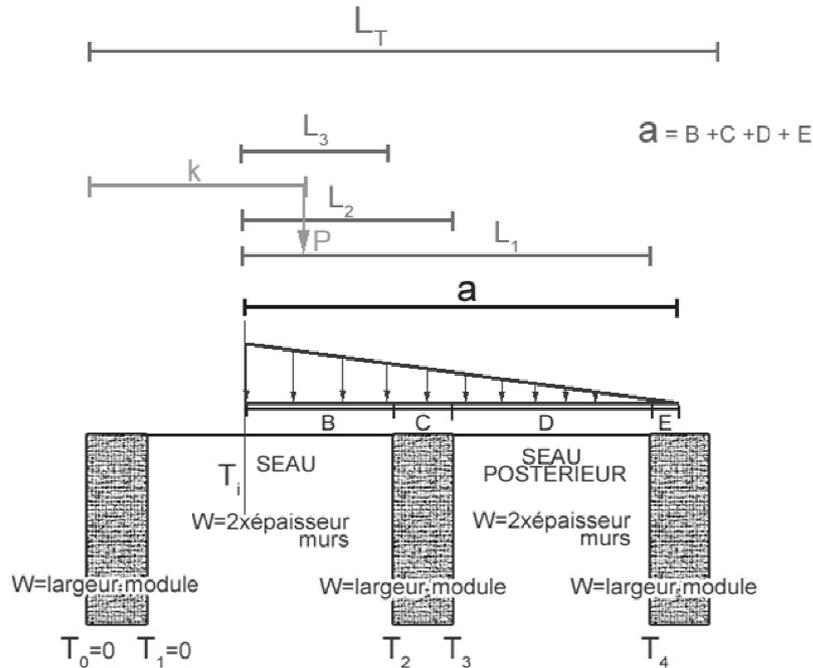


Image 82. Mécanisme de contact de caissons 2x2 quand il y a un décollage et un décalage.

Dans ce cas, les situations de tension possibles, compte tenu que T_0 et T_4 sont 0 et que la tension au-dessous du bord du caisson supérieur est T_i , sont les suivantes:

Situation 1.

$$\begin{aligned}
 &a > L_1, \\
 &\text{Tensions: } (T_i, T_3, T_2, T_4) \\
 &B = L_2 - e \\
 &C = e \\
 &D = L_1 - L_2 \\
 &E = e - L_1 + a \\
 &T_3 = -T_i L_2 (a)^{-1} + T_i \\
 &T_2 = -T_i L_3 (a)^{-1} + T_i \\
 &T_4 = -T_i L_1 (a)^{-1} + T_i
 \end{aligned}$$

Situation 2.

$$\begin{aligned}
 &L_1 > a > L_2, \\
 &\text{Tensions: } (T_i, T_3, T_2, T_4 = 0) \\
 &B = L_2 - e \\
 &C = e \\
 &D = a - L_3 \\
 &E = 0 \\
 &T_2 = -T_i L_2 (a)^{-1} + T_i \\
 &T_3 = -T_i L_3 (a)^{-1} + T_i \\
 &T_4 = 0
 \end{aligned}$$

Situation 3.

$$L_2 > a > L_3$$

$$\text{Tensions: } (T_1, T_2, T_3=0, T_4=0)$$

$$B=L_2-e$$

$$C=a-L_2$$

$$D=0$$

$$E=0$$

$$T_2 = -T_1 L_2 (a)^{-1} + T_1$$

$$T_3 = 0$$

$$T_4 = 0$$

Situation 4.

$$L_3 > a > L_4$$

$$\text{Tensions: } (T_2=0, T_3=0, T_4=0)$$

$$B=a$$

$$C=0$$

$$D=0$$

$$E=0$$

$$T_2 = 0$$

$$T_3 = 0$$

$$T_4 = 0$$

Dans chaque situation, l'équilibre de moments doit être respecté:

$$T_2 \cdot 2e \cdot B \cdot (B/2) + (T_1 - T_2) \cdot 0,5 \cdot (B/3) \cdot 2e \cdot B + T_3 \cdot C \cdot W \cdot (L_3 + C/2) + (T_2 - T_3) \cdot 0,5 \cdot C \cdot W \cdot (C/3 + L_3) + T_4 \cdot D \cdot 2e \cdot (L_2 + D/2) + (T_3 - T_4) \cdot 0,5 \cdot D \cdot 2e \cdot (D/3 + L_2) + T_4/2 \cdot E \cdot W \cdot (E/3 + L_1) = M = P \cdot K$$

Dans chaque situation, l'équilibre de forces doit être également respecté:

$$(T_1 + T_2)/2 \cdot 2e \cdot B + (T_2 + T_3)/2 \cdot C \cdot W + (T_3 + T_4)/2 \cdot D \cdot 2e + (T_4)/2 \cdot E \cdot W = P$$

Également au cas antérieur, par itérations successives, on obtiendra la valeur de \underline{a} et, par conséquence, la valeur des tensions entre les modules.

- 2. Il n'y a pas décollage dans le bord du côté frontal. Dans cette situation, le diagramme de tensions est modifié par l'existence d'une valeur de compression au bord de la partie postérieure T_t . Les valeurs de tensions et les distances sont les suivantes:

$$\text{Tensions: } (T_t, T_2, T_3, T_4, T_1)$$

$$B=L_2-e$$

$$C=e$$

$$D=L_1-L_2$$

$$E=e-L_t+a$$

$$T_2 = (T_t - T_t) L_3 (a)^{-1} + T_t$$

$$T_3 = (T_t - T_t) L_2 (a)^{-1} + T_t$$

$$T_4 = (T_t - T_t) L_1 (a)^{-1} + T_t$$

Dans cette situation, généralement, le terrain touchant la partie postérieure devrait réagir. Cependant, la différence significative entre les rigidités (1/100) nous permet de mépriser la réaction du terrain dans cette partie postérieure, en tenant compte de la limitation établie dans les décalages.

Dans le modèle de calcul, on obtient les poussées sur les modules autant dans des situations statiques que dynamiques. À cette fin, on applique la formule de Coulomb modifiée par Mononobe-Okabe.

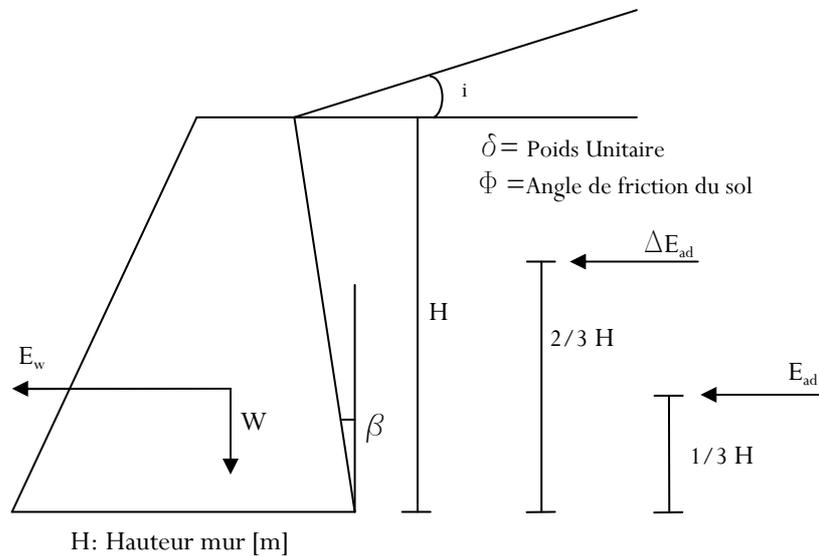


Image 83. Mécanisme de poussée dans un situation dynamique.

$$K_{ad} = \frac{\cos^2 (\phi - \theta - \beta)}{\cos \theta \cdot \cos^2 \beta \cdot \cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \cos(i - \beta)}} \right]^2}$$

Ou ϕ c'est l'angle de frottement, β c'est l'angle de la partie postérieure du caisson, δ c'est le frottement terres-mur, i c'est l'angle du talus et θ est donné par la relation dynamique suivante:

$$\theta = \text{actg} [k_h / (1 - K_v)]$$

Le processus proposé est le suivant:

1. On détermine la poussée active dans des conditions statiques.

$$E_a = 1/2 g H^2 K_a$$

2. On calcule la poussée active dynamique.

$$E_{ad} = 1/2 g H^2 (1 - K_v) K_{ad}$$

3. On obtient l'accroissement dynamique de poussée ΔE_{ad}

$$\Delta E_{ad} = E_{ad} - E_a$$

E_a agit à un tiers de H si l'on mesure depuis la base.

ΔE_{ad} agit à 0,6 H si l'on mesure depuis la base.

MODÈLES DE CALCUL

Cette guide annexe un logiciel qui permet obtenir la stabilité des modules un à un pour tout configuration, en suivant les formules précitées. De la même façon, il fournit les lois de contacts entre modules du mur.

Pour obtenir les tensions de chacun des modules, l'ingénieur calculeur pourra employer un programme d'éléments finis module à module ou bien conjointement, en considérant les contacts entre modules. Pour la deuxième solution, il devra employer un logiciel capable de traiter les contacts entre solides. S'il va faire le calcul module à module, il devra considérer les charges qui interviennent sur chacun d'eux, à savoir:

- la charge horizontale de la poussée de terres qui les modules soutiennent au-dessus de celui calculé.
- la poussée de terres contre le module.
- la charge verticale transmise par le module supérieur dans un emplacement déterminé grâce au calcul de stabilité des modules.
- le poids du module avec les terres ou remplissages que l'on emploie.
- la réaction inférieure horizontale.
- la réaction verticale proprement située selon l'étude de stabilité préalable.

Les valeurs antérieures peuvent s'obtenir grâce au calcul de stabilité au basculement et au glissement du module et grâce aux données des efforts de contact entre modules.

Avec les données antérieures, on pourra obtenir les valeurs des tensions internes module à module.

De toute façon, l'utilisateur aura à son disposition les services d'ACTISA S.L. offerts avec la commande des murs type CCW. Ces services comprennent la rédaction du projet complet en détaillant tous les efforts, tensions et stabilités des modules.

The calculation may be for embankments and for cut section slopes.

Le calcul pourra se faire pour configurations de terre-pleins et déblais:

- Jusqu'à 10m pour certains cas jusqu'à 12m.
- Les caissons peuvent se fabriquer avec des hauteurs multiple de 0,5 (0,5, 1.0, 1.5m...)

TRACTION-FLEXION MAXIMALE

L'emploi de murs CCW permet de garantir tensions à des états limites de service pour des situations presque permanentes au-dessous de 50 kg/cm^2 . Les tensions principales sont localisées aux modules inférieurs. Quand il ne soit pas possible de garantir les tensions inférieures, on recommandera le bétonnage complet du seau et du seau postérieur du module inférieur.

Il n'est pas donc prévisible des fissurations dans les modules de caissons en Composite Ciment Verre (CCV).

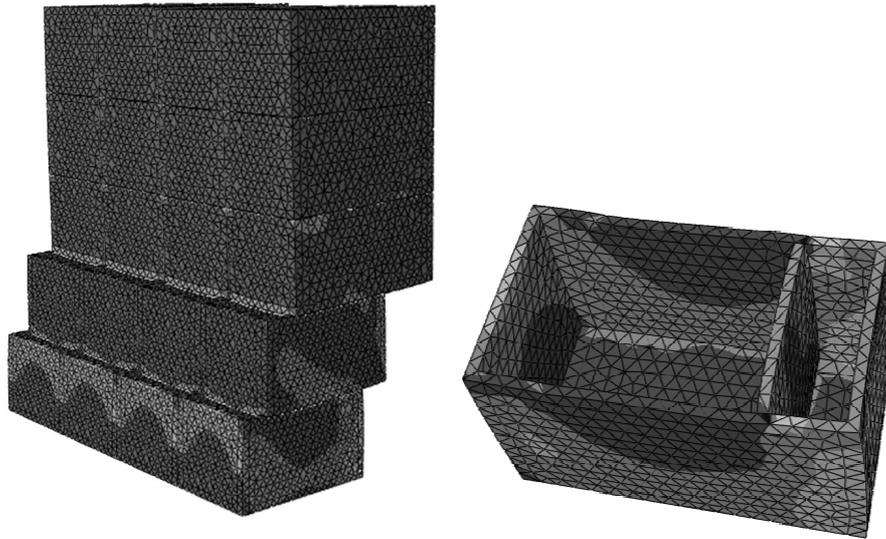


Image 84. Tensions maximaux principaux pour un déblai avec situation sismique de 10 m de hauteur.

TENSION TANGENTIELLE MAXIMALE

On va garantir des tensions inférieures à 30 kg/cm^2 et le coefficient de sécurité à tranchant sera donc supérieur à 1,25.

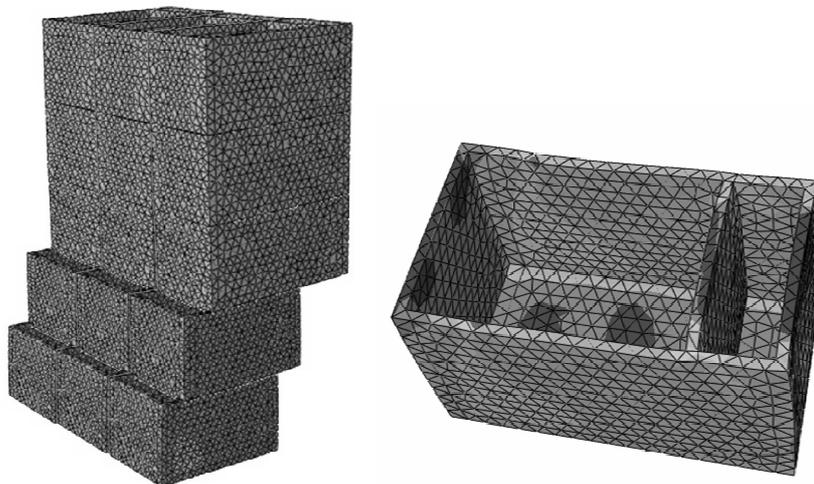


Image 85. Tranchant maximal pour une hauteur de 10 m et situation sismique.

DÉFAILLANCE PAR FISSURATION

Comme on a signalé antérieurement, les valeurs de traction-flexion maximaux indiquent qu'il n'y aura pas de fissuration entre les caissons.

DÉFORMATION ET DÉPLACEMENTS

Pour la hauteur la plus grande en ci que concerne à la modélisation (10 m), la déformation à la partie supérieure est normalement inférieur aux 5 mm. C'est pourquoi la relation par rapport à la hauteur est 5/10.000, un ratio notamment supérieur à la déformation d'un mur de soutènement en L conventionnel.

STABILITÉ DE CHACUN DES MODULES

Comme on a indiqué auparavant, la stabilité module à module peut se calculer grâce aux formules décrites antérieurement ou bien en employant le logiciel ci-joint. Le logiciel permet de calculer la stabilité dans chaque module et les tensions de contact entre deux modules, en suivant la méthodologie ici indiquée.

STABILITÉ GÉNÉRALE

La stabilité générale devra se vérifier spécifiquement pour chaque projet en fonction des variables suivantes:

- hauteur de la base de béton maigre sur l'appui.
- caractéristiques du terrain naturel sous la base de béton.
- besoin de drainage.

Généralement, une fois que la stabilité au basculement du premier module est achevée, la stabilité de l'ensemble est garantie, y compris la fondation. Cependant, pour la stabilité au glissement, la hauteur de la fondation et la contribution de la poussée passive vont influencer notamment. C'est pour ça qu'il convient d'encastrer le premier module au moins 25 cm au-dessous du niveau du terrain.

La stabilité au glissement de l'ensemble exigera l'étude particulière du mur à projeter. De la même façon, la stabilité profonde au-dessous de la fondation doit être vérifiée globalement pour le talus protégé.

RÉACTION CONTRE LE TERRAIN

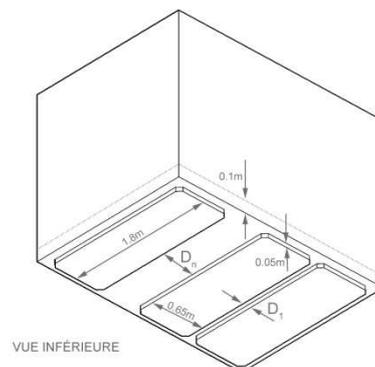
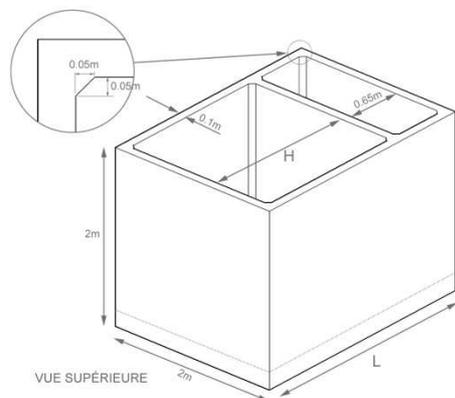
Comme dans le cas précédent, les réactions contre le terrain doivent se déterminer spécifiquement pour chaque mur en fonction de la fondation et les caractéristiques du terrain.

CAISSONS WALLS

1.- GEOMETRY

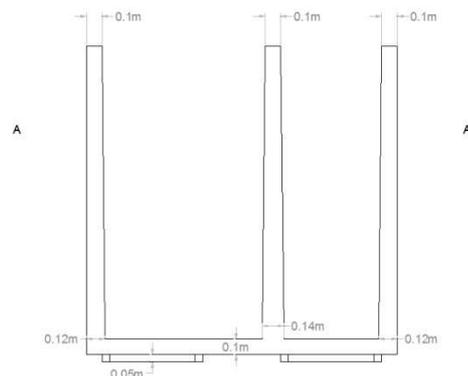
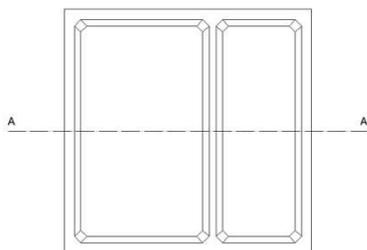
Vue 3D

Mesures caissons	L(m)	H(m)	D1(m)	D2(m)	D3(m)	D4(m)
CCW-A	1.25	1.05	0.5			
CCW-B	2.00	1.05	0.1	0.5		
CCW-C	2.75	1.80	0.1	0.3	0.3	
CCW-D	3.50	2.55	0.1	0.23	0.24	0.23
CCW-E	4.25	3.30	0.1			



Section

SECTION A - A'



2.- DOSAGE ET MATÉRIEAUX

Le béton à employer devra respecter le suivant dosage:

Arde	1760 Kg
Ciment 42.5 R	360 Kg, (teneur minimum)
Plastifiant	2 l
Fibre de verre 36 mm de longueur.	18 Kg
Eau	180 l (selon la teneur en ciment)

Aride:

Fraction grossière, 8/12 mm : 40%.

Fraction fine, 0/5 mm : 60%.

Les essais devront garantir une résistance caractéristique d'au moins 30 MPa et une résistance à traction-flexion de 5,0 MPa.

3.- TENSION MAXIMALE ADMISSIBLE

- A) Tension maximale 50 Kg/cm²
- B) Tension tangentielle maximale 30 Kg/cm²

