

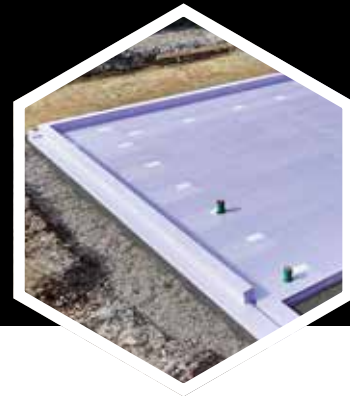
RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES D'EXIBA FRANCE



AIDE AU DIMENSIONNEMENT
DE LA STRUCTURE BÉTON D'UN RADIER THERMIQUE
AVEC POLYSTYRÈNE EXTRUDÉ (XPS)



ISOLATION
EXTRÊME
XPS



SOMMAIRE CLIQUABLE

1. DOMAINE D'APPLICATION

P3

2. RÉFÉRENCES NORMATIVES

P4

3. DÉFINITIONS

P5

4. DOMAINE D'APPLICATION

P7

5. DIMENSIONNEMENT DES RADIERS THERMIQUES

P8





ISOLATION
EXTRÊME
XPS



RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES D'EXIBA FRANCE AIDE AU DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON D'UN RADIER THERMIQUE AVEC POLYSTYRÈNE EXTRUDÉ (XPS)

PRÉAMBULE

Le cas des radiers thermiques ne fait l'objet d'aucune règle de conception et de mise en œuvre en France. Cette technique, nécessaire pour réaliser des bâtiments à hautes performances énergétiques, permet de répondre à la réglementation thermique en vigueur. En raison des nombreux points communs des procédés existants, de l'existence de référentiels dans divers pays européens, Exiba France a élaboré ce document regroupant ces prescriptions communes d'aide au dimensionnement de la structure béton d'un radier thermique. Le corps du document définit les divers paramètres utiles pour le dimensionnement et les divers facteurs à prendre en compte. L'annexe C présente la méthode de dimensionnement et les valeurs typiques de résistance mécanique des isolants.

1. DOMAINE D'APPLICATION

Le présent document est applicable dans toutes les zones climatiques françaises métropolitaines. Les prescriptions du présent document permettent de traiter le cas des ouvrages courants, tels que ceux destinés aux logements (maisons individuelles ou habitat collectif) bâtiments scolaires et hospitaliers, immeubles de bureaux, bâtiments industriels, commerces et parkings, pour des conditions normales d'utilisation et dans les limites d'utilisation définies ci-dessous.

- L'utilisation en zone sismique est limitée aux zones de 0 à 3 inclus au sens du Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010. (Pour les autres zones une étude spécifique est nécessaire).
- L'utilisation est limitée aux ouvrages limités à R+3.

2. RÉFÉRENCES NORMATIVES

Les documents de référence sont listés ci-après. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence (y compris les éventuels amendements) s'applique.

NF EN 206-1 - NF P 18-325-1 : Béton.

Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité.

NF EN 1990 - Eurocode 0 : Bases de calcul des structures.

NF EN 1992-1-1 - Eurocode 2 : Calcul des structures en béton.

Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.

NF EN 1997 - 1/A1 Eurocode 7 - Partie 1 : Règles générales.

NF EN 1997 - 1/NA Eurocode 7 : Calcul géotechnique.

Partie 1 : Règles générales - Annexe Nationale.

NF EN 1997-2 - Eurocode 7 - Partie 2 : Règles générales reconnaissance des terrains et essais.

NF EN 10080 : Aciers pour l'armature du béton. Aciers soudables pour béton armé. Généralités.

NF EN 13164 - 2012 : Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en mousse de polystyrène extrudé (XPS).

NF EN 13670 : Exécution des structures en béton.

NF EN ISO 13793 : Performance thermique des bâtiments. Conception thermique des fondations pour éviter les poussées dues au gel.

Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes.

NF P94-261 - Juin 2013 : Justification des ouvrages géotechniques. Normes d'application nationale de l'Eurocode 7. Fondations superficielles. Calcul géotechnique.

NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique. Classification et spécifications.

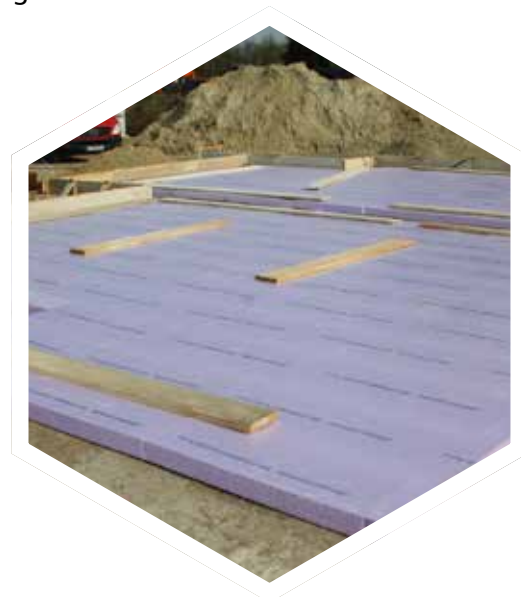
NF DTU 21 - NF P 18-201 (Référence DTU 21) : Travaux de bâtiment. Exécution des ouvrages en béton.

Guide CERIB / FIB « Les classes d'exposition. Aide à la prescription. Recommandations professionnelles » (édition décembre 2009).

Agréments techniques allemands : Zulassung N°23.34-1324 et Zulassung.n°23.34-1613.

Certificats de la maison passive « Passivhaus Institut Darmstadt ».

Règles sismiques et réglementations en vigueur.

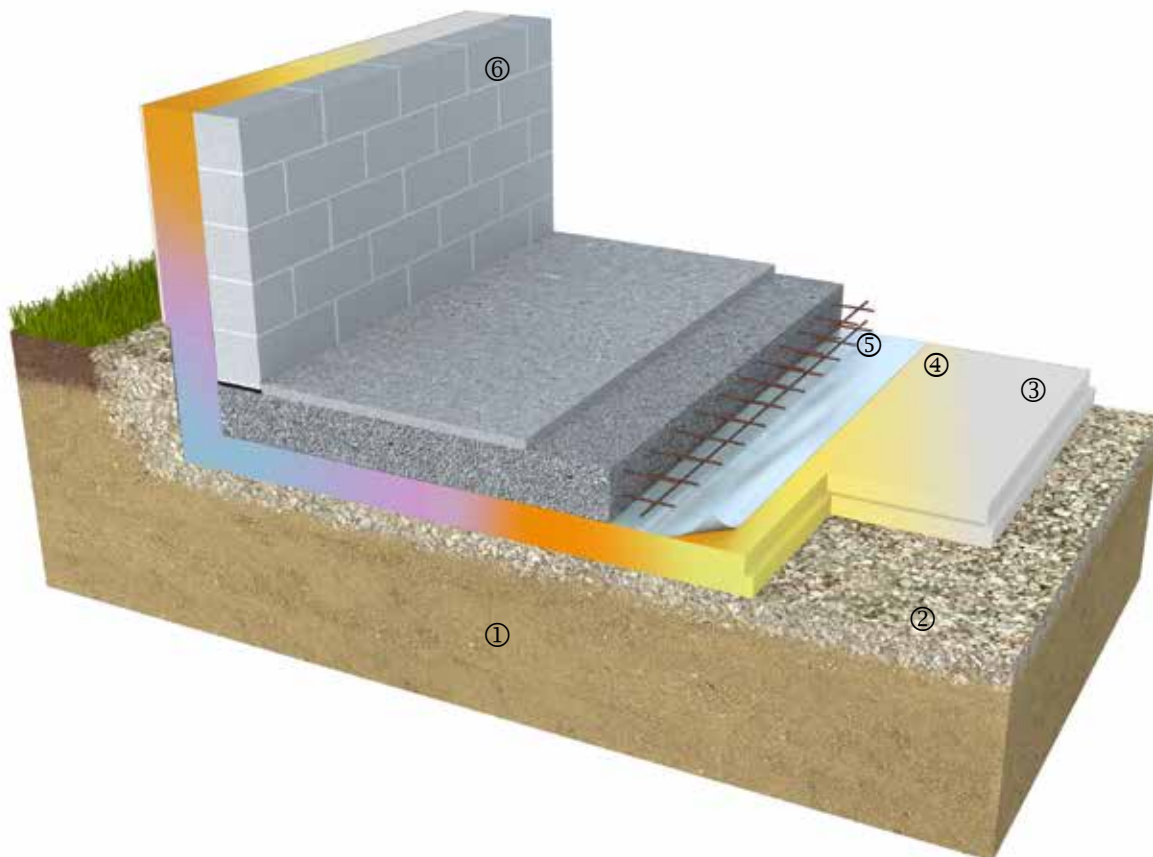


3. DÉFINITIONS

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent.

RADIER THERMIQUE

Un radier thermique est un ouvrage constitué d'un radier béton reposant sur un isolant thermique de type polystyrène extrudé (XPS) reposant sur une forme ou sur le terrain en place.



- ① Fond de forme (Terrain naturel ou terrain reconstitué par des matériaux d'apport)
- ② Forme
- ③ Isolant polystyrène extrudé (XPS)
- ④ Film polyéthylène
- ⑤ Radier béton
- ⑥ Mur extérieur

FORME

La forme est constituée par un traitement du sol en place ou par des matériaux d'apport servant d'assise au radier thermique. Sa compacité permet de réduire les tassements sous charge. L'amélioration de la compacité peut être obtenue par compactage des matériaux en place et éventuellement par ajout et compactage de matériaux d'apport permettant d'améliorer la portance des sols en place. L'état de surface doit être aménagé pour préserver l'intégrité de l'isolant. Pour cela, l'assise supérieure de la forme est fermée par une fine couche de réglage (gravier, sablon, béton de propreté). La tolérance de planéité générale sera de 10 mm sous la règle de 2 mètres.

Note : une épaisseur de 40 cm minimum est généralement requise pour l'installation des VRD.

Film polyéthylène

Il a pour fonction d'éviter les fuites de laitance au joint des panneaux d'isolation. Il est interposé entre la couche isolante et le radier béton.

Plans et préconisations de pose

Documents divers du fabricant.

Etats de surface

Il caractérise l'aspect de la surface du dallage. Il peut être :

- « Brut de règle » réalisé par dressage à la règle, manuellement ou mécaniquement, pour les dallages destinés à recevoir des revêtements scellés ou des chapes rapportées.
- Lissé, le plus souvent mécaniquement, pour les dallages destinés à recevoir une couche d'usure, un revêtement collé, une couche d'isolation ou un revêtement scellé désolidarisé.
- Surfaccé par talochage manuel ou mécanique, pour les autres cas.



4. DOMAINE D'APPLICATION

4.1 Béton

Pour les radiers bétons, les matériaux sont choisis parmi ceux répondant aux critères donnés dans les normes NF EN 13670 et NF DTU 21 : NF P 18-201.

4.2 Isolant

Seuls les isolants en polystyrènes extrudés (XPS) conformes à la norme NF EN 13164 sont admis. La déclaration de performances des produits (DOP) au sens du règlement (UE) n°305/2011 du Parlement européen et du conseil visant les produits de construction devra préciser les niveaux minimaux suivants :

- Contrainte en compression à 10 % ou résistance à la compression CS(10\Y)300.
- Absorption d'eau à long terme par immersion totale WL(T)0,7.
- Absorption d'eau à long terme par diffusion WD(V)3.
- Résistance aux effets du gel-dégel FD(CD)1.
- Fluage en compression CC(2/1,5/50)100.

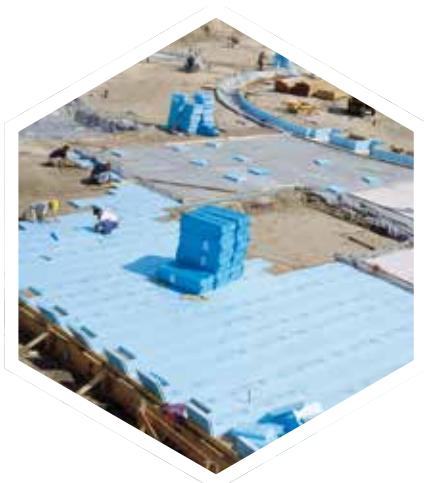


4.3 Film

Il peut être constitué d'une feuille en polyéthylène, d'une épaisseur nominale de 150 µm au minimum ou d'une solution alternative de performances similaires.

4.4 Matériaux d'apport

Ils doivent être de bonne qualité et pouvoir être compactés. Tous matériaux évolutifs, exemple argile, sont à proscrire.



5. Dimensionnement des radiers thermiques

5.1 Généralités

5.1.1 Définition des actions

L'ensemble des descentes de charges (en termes d'intensité, de positionnement, de surface d'impact) de l'ouvrage doivent être précisées lors de la conception du projet.

5.1.2 Exigences d'utilisation

Elles portent sur les tolérances d'exécution du radier hors charges et sur ses déformations sous charges.

• Tolérances de planéité générale

Par défaut de spécifications des pièces du marché, on peut prendre les tolérances ci-dessous :

- ✓ Le nombre de points de contrôle uniformément répartis est de un point par 100 m², avec un minimum de 5 points.
- ✓ La tolérance, exprimée en mm, est égale à : 10 L/3
(L, longueur exprimée en mètre entre deux points de mesure, devant être supérieure à 2 m).

• Tolérances de planéité locale

À défaut d'autres précisions dans les DPM :

- ✓ Nombre de points de contrôle : un par 100 m², avec un minimum de 10 points.
- ✓ La planéité peut être mesurée au moyen d'une règle de 2 m et d'un réglelet de 0,20 m posés à leurs extrémités sur deux cales. Les tolérances (mm) sont définies dans le tableau ci-dessous en fonction de l'état de surface retenu.

État de surface	Brut de règle	Surfacé	Lissé
Planéité sous règle de 2 m	15	10	7
Planéité sous règle de 0,20 m	sans objet	3	2

Dans le cas où il est spécifié que le dallage est destiné à recevoir un revêtement de sol collé ou scellé désolidarisé, les tolérances de planéité sous règles de 2 m et 0,20 m sont respectivement de 7 mm et 2 mm.

• Etat limite de déformation

À défaut d'autres précisions dans les DPM, on retiendra les limites définies ci-dessous :

- ✓ Flèche active

La valeur limite de la déformation active dépend du type d'ouvrage supporté par le plancher (fragilité des cloisons et du revêtement de sol, etc.). La déformation active est limitée en fonction de la distance L entre deux éléments sollicitant le radier (voiles, poteaux...).

— L/500 pour les cloisons en maçonnerie et/ou les revêtements de sols fragiles, la déformation active étant mesurée à compter de la mise en œuvre de l'élément fragile supporté.

— L/350 pour les autres cloisons et/ou les revêtements de sol non fragiles, la déformation active étant mesurée à compter de la mise en œuvre des cloisons ou des revêtements de sol dans les cas où il n'y a pas de cloisons.

- ✓ Flèche absolue

La déformation du radier sous l'action des charges quasi permanentes ne doit pas être supérieure à L/250, L entre deux éléments sollicitant le radier (voiles, poteaux...).

5.1.3 Critères de durabilité

Ils portent principalement sur la durabilité du béton et les enrobages des armatures.

L'enrobage respecte les prescriptions définies dans la section 4 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA. Le guide CERIB / FIB « Les classes d'exposition – Aide à la prescription – Recommandations professionnelles » (édition décembre 2009) définit la classe d'exposition à considérer pour chaque partie d'ouvrage, selon la localisation géographique. A défaut de respecter ces préconisations on prendra une valeur d'enrobage nominale minimale de 35 mm.

5.1.4 Données géotechniques

La reconnaissance géotechnique est indispensable pour la conception du radier. Une mission géotechnique de conception au sens de la norme NF P 94-500 doit permettre de donner les caractéristiques géotechniques nécessaires au BET structure en charge de la conception du radier thermique. Les caractéristiques du support gouvernent l'importance des déformations et les sollicitations du radier. L'annexe A détaille les contraintes géotechniques liées à la réalisation d'un radier thermique et les informations minimales que doivent contenir le rapport de la mission géotechnique.

5.2 Méthode de dimensionnement

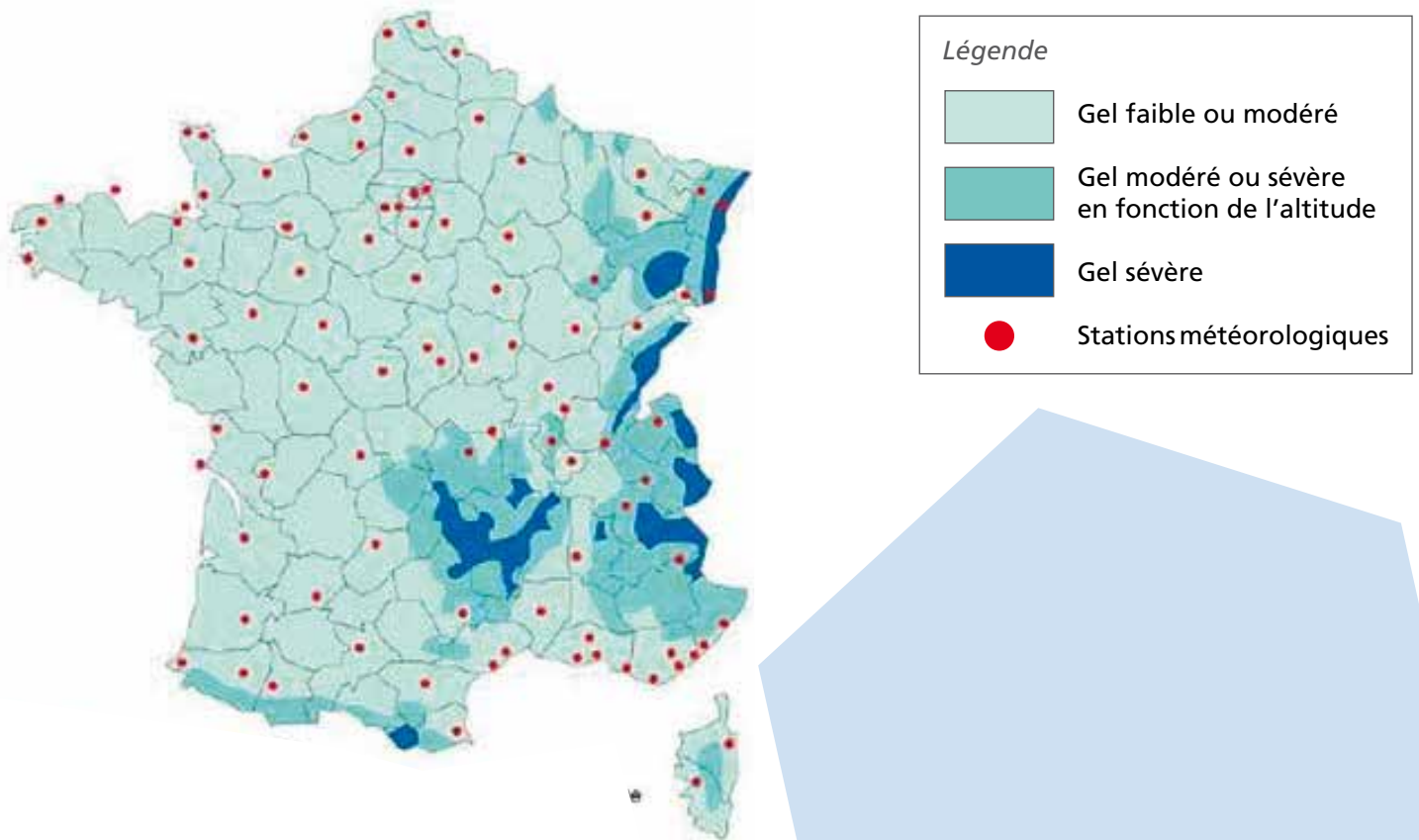
5.2.1 Portance minimale du fond de forme

Le système constructif de radier nécessite un fond de forme d'une raideur superficielle de 20 à 30 Mpa/m. Cette exigence impose, dans le cas d'un terrain naturel de faible portance, la mise en place de matériaux d'apport. A titre d'information, on pourra retenir en pré étude les valeurs établies selon la formule de Gress. Dans tous les cas les indications de l'étude de sol sont à respecter.

5.2.2 Prise en compte du niveau hors gel

La nécessité de la protection au gel dépend de deux paramètres : le niveau bas du radier par rapport au terrain naturel et la localisation géographique de l'ouvrage.

On se reportera à la carte gel-dégel issue de la norme NF EN 206/CN pour connaître la zone de gel considérée :



Dans chaque zone de gel une profondeur de référence (T) en cm est définie. Elle est valable pour tous les projets en plaine. Lorsque le projet est situé en altitude, la hauteur de référence (T2) est obtenue par la formule suivante :

$$T2 = T + 5 \times (\text{altitude (en m)} - 150) / 200$$

Le tableau ci-dessous indique les profondeurs de référence (T) en fonction des zones de gel :

Zone de Gel	Zone de gel faible ou modéré	Zone de gel modéré ou sévère	Zone de gel sévère
Profondeur Hors gel T (en cm)	60	80	100

Le tableau ci-dessous indique, s'il y a lieu de prendre des dispositions spécifiques en fonction de la profondeur de référence gel (T ou T2), du type de matériaux d'apport ainsi que du niveau bas du radier (c'est-à-dire niveau bas de l'isolant) :

Niveau bas de la sous face de l'isolant par rapport au TN : Z (en cm)	Présence d'un matériau d'apport insensible à l'eau et au gel jusqu'à la profondeur T	Dispositions spécifiques
Z ≤ T (plaine) ou T2 (montagne)	Oui	Aucune
	Non	Nécessaire
Z > T (plaine) ou T2 (montagne)	Indifférent	Aucune

Les dispositions spécifiques doivent être prises conformément à la norme NF EN ISO 13793. Une solution consiste à placer des panneaux isolants en polystyrène extrudé (XPS) de 80 mm d'épaisseur en les positionnant de manière horizontale en périphérie du bâtiment avec un débord de 120 cm.



5.2.3 Caractéristiques mécaniques et épaisseur minimale du béton

La conception d'un radier thermique nécessite de limiter les pressions sur le polystyrène extrudé (XPS).

5.2.3.1 Caractéristiques mécaniques et charge admissible de l'isolant thermique

Les caractéristiques mécaniques des polystyrènes extrudés sont données suivant les normes NF EN 826 (contrainte en compression à 10 % ou résistance à la compression) et NF EN 1606 (détermination du fluage à 50 ans sous 2 % de déformation maximum).

On limitera les pressions sur isolant aux valeurs :

- **A L'ELU ou en sollicitations accidentelles**

$$F_{cd} = F_{ck} / \text{Gamma}_M = C_s(10/Y) / \text{Gamma}_M.$$

Gamma_M : coefficient de sécurité partiel du matériau égal à 2.

F_{cd} : charge admissible de l'isolant à l'ELU (Etat Limite Ultime).

Note 1 : Gamma_M est le coefficient de sécurité forfaitaire. Il peut être moins élevé pour certains produits sur justification. Par exemple certification par tierce partie ou avis technique.

- **A ELS**

$$F_c = F_{ck} / \text{Gamma}_F = C_s(10/Y) / \text{Gamma}_F.$$

Gamma_F : coefficient de sécurité partiel du matériau égal à 3.

F_c : charge admissible de l'isolant à l'ELS (Etat Limite de Service).

Note 2 : Gamma_F est le coefficient de sécurité forfaitaire. Il peut être moins élevé pour certains produits sur justification. Par exemple certification par tierce partie ou avis technique.

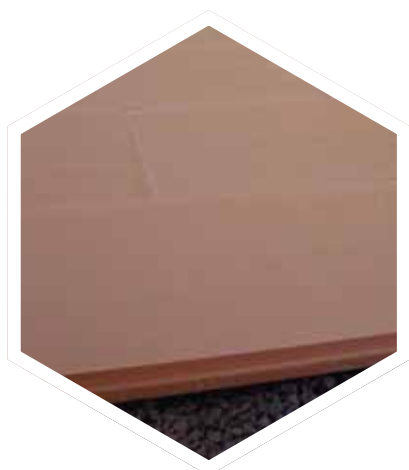
Note 3 : F_c doit être inférieur ou égal à la valeur de fluage en compression (CC(2/1,5/50) spécifiée sur la DOP par le fabricant. Si la valeur F_c est supérieure à celle de fluage, alors la valeur F_c est prise égale à la valeur de fluage.

Le module d'élasticité à long terme (Elong) de l'isolant est donné par la formule suivante :

$$\text{Elong terme} = F_c / 0,02$$

Exemple de valeurs caractéristiques en fonction de la résistance en compression CS(10/Y) :

CS(10/Y) (KPa)	300	500	700
F _{cd} (kPa)	150	250	350
F _c (kPa)	100	165	230
Module à long terme Elong (kPa)	5000	8250	11500



Les pressions exercées par le radier sur l'isolant seront vérifiées lors de l'étude béton. En première approche on pourra estimer l'épaisseur minimale du radier pour s'assurer que les pressions restent en dessous de la pression admissible de l'isolant à l'aide des tableaux de l'annexe C issus des formules indiquées ci-dessous :

Calcul de l'épaisseur minimale du radier en fonction de la charge admissible de l'isolant		
Type de charge	Charge ponctuelle P en Kn	Charge linéaire en P Kn/m
Pression équivalente de calcul	$P_{\text{équivalente}} = P / (0.20 * 0.20)$	$P_{\text{équivalente}} = P / (0.15)$
Rapport des pressions	$f = P_{\text{admissible isolant}} / P_{\text{équivalente}}$	$f = P_{\text{admissible isolant}} / P_{\text{équivalente}}$
Charge en partie centrale	Epaisseur = $1.1 * 0.7902 * f^{0.969}$	Epaisseur = $1.1 * 1.377 * f^{1.351}$
Charge en partie bord	Epaisseur = $1.1 * 6.029 * f^{-0.791}$	Epaisseur = $1.1 * 6.25 * f^{-1.549}$
Charge en partie angle	Epaisseur = $1.1 * 6.029 * f^{-0.791}$	Epaisseur = $1.1 * 12.45 * f^{-1.733}$

Commentaires :

Attention les épaisseurs minimales calculées par le tableau ci-dessus ne permettent que de vérifier le critère de compressibilité. Afin de limiter les déformations du radier, il peut être nécessaire d'augmenter son épaisseur.

5.2.3 Dimensionnement du radier

Un radier thermique peut se calculer suivant les différentes méthodes classiques de dimensionnement des radiers :

- Méthode des planchers renversés avec ou sans poutre de raidissement.
- Méthode aux éléments finis sur plaque élastique.

Pour ce type de méthode, on retiendra une raideur de calcul K_{calcul} calculée de la manière suivante :

$$\frac{1}{K_{\text{calcul}}} = \frac{1}{K_{\text{isolant}}} + \frac{1}{K_{\text{sol}}}$$

avec

$$K_{\text{isolant}} = \frac{E_{\text{long}}}{\text{Epaisseur}_{\text{isolant}}}$$

$$E_{\text{long}} = \frac{F_{c_{\text{isolant}}}}{0.02}$$

$F_{c_{\text{isolant}}}$ en kPa ; $\text{Epaisseur}_{\text{isolant}}$ en m

K_{sol} = raideur du sol issue de l'étude géotechnique en kN/m³

Commentaires :

Il est rappelé que le dimensionnement du radier doit prendre en compte les déformations admissibles en fonction de la nature des revêtements de sol.

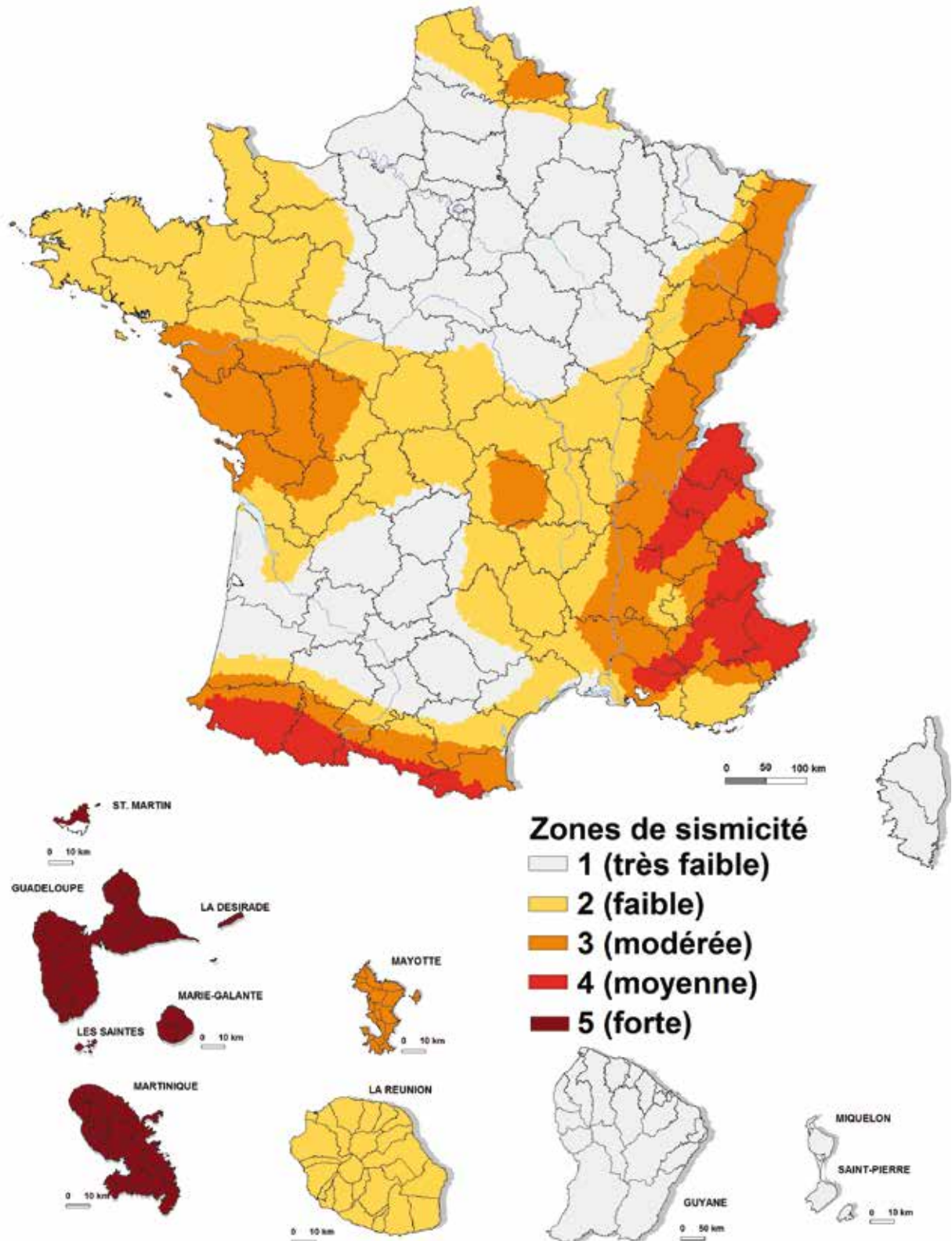


5.2.5 Prise en compte de la sismicité

Il y a lieu de s'assurer de la compatibilité des sols vis-à-vis des actions sismiques (sols liquéfiables, etc...). Cette vérification sera réalisée par le géotechnicien dans le cadre de sa mission géotechnique. Il y a lieu de s'assurer de la stabilité de l'ouvrage sous les actions sismiques.

5.2.5.1 Cas sismicité faible à modérée et bâtiment relevant des règles PSMI

- Rappel des zones sismiques



Commentaires :

Le présent document se limite par ailleurs à la France européenne.

• Rappel des principales exigences des PSMI

Limitations aux cas de maisons individuelles ou bâtiments assimilés, de formes simples.
Les constructions appartiennent à la catégorie d'importance II.
Limitation des charges d'exploitation.
Limitation du nombre de niveaux à 3 maximum.
Vérification de la régularité de forme et des sept critères géométriques.

• Méthode de vérification de la stabilité

Pourront être retenues les méthodes pseudo-statiques sous réserve de s'assurer de la régularité en élévation et des vérifications des périodes de vibration.

Sous l'action combinée des efforts tranchants maximaux F , il y aura lieu de s'assurer du non glissement du radier sur l'isolant. Pour cela il faut vérifier :

$$V_{ED} \leq F_{RD}$$

V_{ED} = Effort tranchant de calcul dans un mur sous accélération horizontale

F_{RD} = Reprise effort horizontal entre le radier et l'isolant

$F_{RD} = N_{ED} \cdot 0.2$ Reprise effort horizontal entre le radier et l'isolant

N_{ED} = Effort sismique normal sous accélération verticale vers le haut

Commentaires :

L'application des formules du chapitre 4.3.3.2.2 de EC8 permet de montrer sur les petits bâtiments inférieurs à deux étages dont la largeur est inférieure à la hauteur que cette vérification est satisfaite pour les zones 1 à 2, pour des classes de sol A, B et C, sans vérification précise.

5.2.5.1 Autres cas

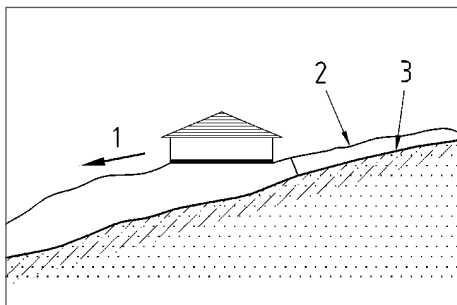
La stabilité de l'ouvrage devra être vérifiée en prenant en compte des méthodes non simplifiées.

ANNEXE A : CONTRAINTES GÉOTECHNIQUES POUR LA CONCEPTION D'UN RADIER THERMIQUE

A.1 Contexte géotechnique incompatible avec la réalisation d'un radier thermique

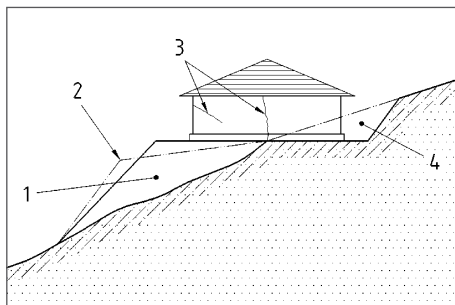
1.1 Morphologie du terrain

La configuration du terrain peut être quelquefois de nature à obliger à abandonner la solution d'un radier thermique. C'est ainsi que les terrains en pente peuvent comporter une couche inclinée de moindre résistance (argile, limon, schiste) jouant le rôle de «lubrifiant» par rapport aux couches dures superposées et susceptibles de provoquer un glissement sous l'effet des charges. En outre, l'importance de la pente peut obliger à des déblais-remblais importants qui sont toujours générateurs de tassements différentiels. Il en est de même dans le cas d'assise du radier sur des sols dont la portance varie fortement (radier reposant à la fois sur des sols rocheux, et sur de faible portance).



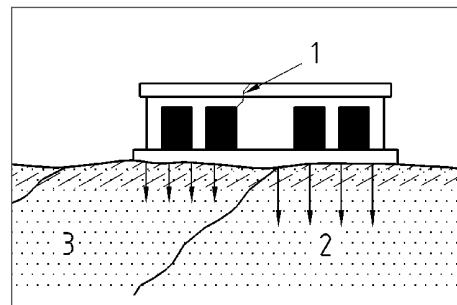
Légende

1. Glissement
2. Sol perméable
3. Lit d'argile



Légende

1. Remblai
2. Tassement du remblai
3. Fissures
4. Déblais



Légende

1. Fissure probable
2. Sol très compressible
3. Sol peu compressible

Figure A.4 - Hétérogénéité du sol

1.2 Nature des sols

La connaissance des sols en place est importante pour la conception des radiers thermiques. La reconnaissance géotechnique permettra de déterminer la comptabilité des sols avec la solution constructive de radier thermique. Certains sols peuvent s'avérer incompatibles ou nécessiteront des adaptations, traitements spécifiques. C'est par exemple le cas lorsque :

- Les sols sont fortement évolutifs ou soumis à des aléas de retrait gonflement.
- Les sols sont gypseux et/ou calcaires, et peuvent présenter des cavités importantes par dissolution. Il peut s'avérer nécessaire dans ces cas de prendre en considération des risques de fontis dans la conception.
- Certains sols en place présentent des risques spécifiques, par exemple : déchets de fonderie, produits de démolition, stériles de mines de charbon ou schistes houillers, sols indurés ou roches tendres et nappe chargée en sels dissous (gypse, anhydrite), schistes carton...

1.3 Conditions hydrologiques

La prise en compte des contraintes hydrologiques, notamment des phénomènes de remontées de nappes phréatiques, peut nécessiter des adaptations spécifiques.

1.4 Risque sismique

En fonction des zones sismiques, le risque de fluidification dans le cas de sols fins en présence de nappe peut nécessiter des adaptations spécifiques (drainage, colonnes ballastées, ...).

A.2 Missions géotechniques

Afin de prendre en considération l'ensemble des risques géotechniques vus précédemment, il est nécessaire de réaliser une mission géotechnique de conception G2 au sens de la norme NF P 94-500. Une mission d'avant projet G2 AVP peut s'avérer insuffisante dans le cas des contextes géotechniques complexes.

2.1 Informations à transmettre au géotechnicien pour le bon déroulement de sa mission

Une mission géotechnique de conception ne peut se réaliser sans avoir un minimum d'information sur le projet de construction. En effet le géotechnicien doit prendre en compte l'ensemble des sollicitations que va engendrer le projet sur le sol. L'interaction sol structure étant assez complexe, il est nécessaire de connaître les charges qui seront exercées sur les sols en place. Cela nécessite de communiquer au géotechnicien au démarrage de sa mission :

• Le niveau haut du radier

La connaissance du niveau du radier permettra au géotechnicien de connaître la nature du sol d'assise du radier, de prendre en considération les surcharges liées au remblai de surélévation pour son calcul de tassement, de prendre en compte la diminution des pressions sur le sol dans le cas des déblais (important dans le cas des sols à risque de retrait gonflement), de prendre en considération les risques hydrologiques, les risques liés au gel dégel.

• La forme géométrique du radier

Les bulbes des contraintes sous l'action des charges ponctuelles ou surfaciques sont directement liés à la surface sollicitante. La déformation globale du sol dépendra de la surface de l'ouvrage pour une pression au sol identique.

• La descente des charges des ouvrages

Le géotechnicien pour son analyse a besoin de connaître les sollicitations liées au poids de l'ouvrage. Il doit avoir une notion du poids total de l'ouvrage (permanent + exploitation). Son analyse sera totalement différente pour un ouvrage léger (maisons en bois d'un seul niveau) et un R+3 traditionnel en béton.



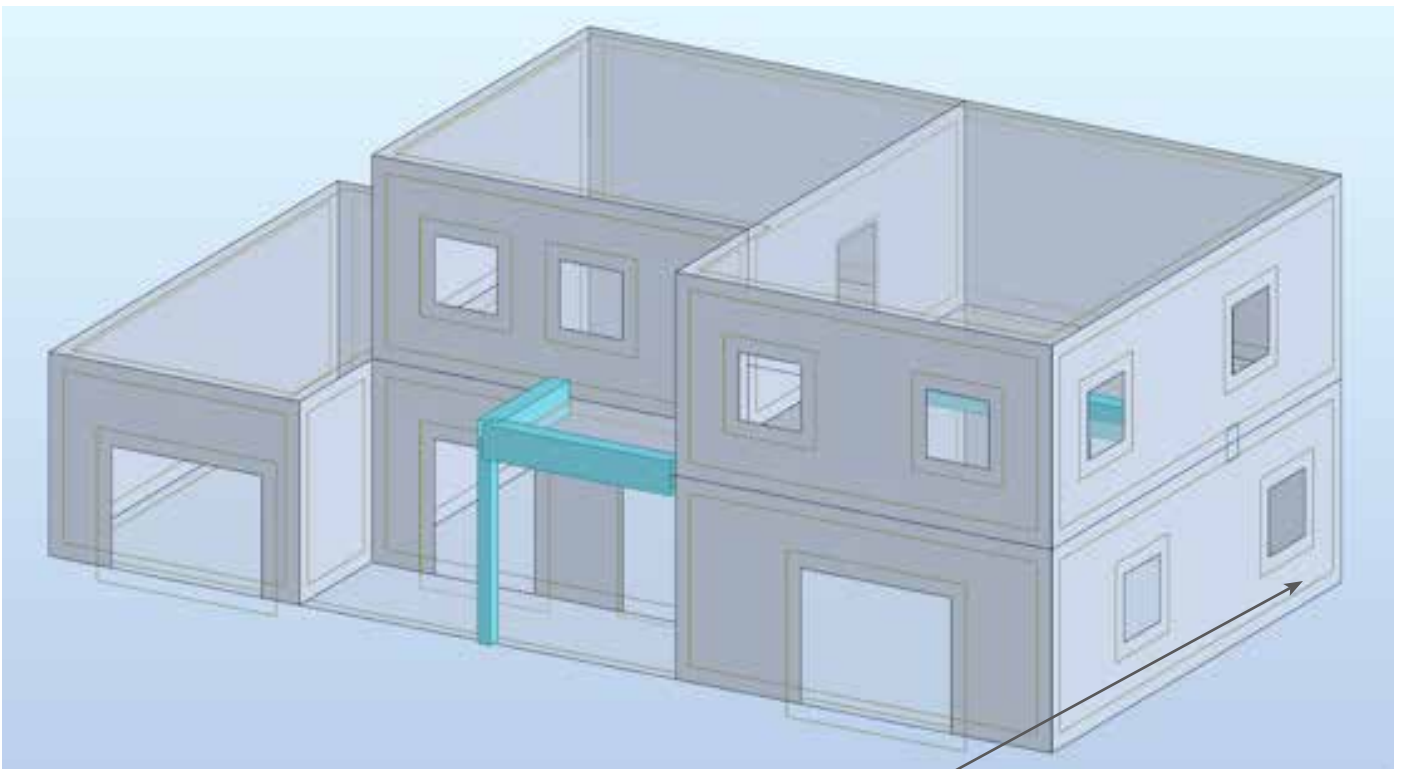
2.2 Elément du rapport de sol

Le géotechnicien doit être capable à l'issue de sa mission :

- De conclure sur la faisabilité d'un radier thermique au vue de la morphologie du terrain, de la lithologie, et des essais réalisés sur le terrain.
- De donner les préconisations sur la nécessité d'un matériau d'apport pour améliorer la portance du sol d'assise au vue des critères minimaux à atteindre pour la plateforme. Il sera demandé de pouvoir garantir une valeur minimale $K_w > 20 \text{ Mpa/m}$.
- De donner la valeur de raideur K_z dépendant de la charge totale transmise et de surface d'application de cette charge. Cette valeur K_z peut se calculer suivant les formules de l'annexe J de la norme NF P94-261 Juin 2013. A défaut de cette valeur, le géotechnicien indiquera le modèle géotechnique sur la forme des différentes couches géotechniques avec leurs caractéristiques propres.
- De donner les dispositions pour les drainages s'il y a une nécessité de prévoir un drainage des sols.

ANNEXE B : VALIDATION DU MODÈLE DE PRÉ-DIMENSIONNEMENT

B.1 Plan du pavillon servant d'exemple



B.2 Descente de charge simplifiée à l'angle des deux murs indiqués

Hypothèses de charges pour l'exemple :

Poids propre des mur = 14.4 KN
Poids propre du plancher = 12.4 KN

Charge exploitation du plancher = 5.14 KN
Total descente charge ELS = 32 KN/m



B.3 Pré-dimensionnement de l'épaisseur de béton suivant les formules simplifiées en 5.2.3.2

Avec un Isolant CS(10/Y) (KPa) 300 KPa ⇒ Fc 100 KPA

Type de charge	Charge linéaire en P Kn/m	32
Pression équivalente de calcul	$P_{\text{équivalente}} = P/(0.15)$	213
Rapport des pressions	$f = P_{\text{admissible isolant}} / P_{\text{équivalente}}$	0.47
Charge en partie angle	Epaisseur = $1.1 * 12.45 * f^{1.733}$	50 cm

Epaisseur radier non économique.

B.3 Pré-dimensionnement de l'épaisseur de béton suivant les formules simplifiées en 5.2.3.2

Avec un Isolant CS(10/Y) (KPa) 500 KPa ⇒ Fc 165 KPA

Type de charge	Charge linéaire en P Kn/m	32
Pression équivalente de calcul	$P_{\text{équivalente}} = P/(0.15)$	213
Rapport des pressions	$f = P_{\text{admissible isolant}} / P_{\text{équivalente}}$	1.07
Charge en partie angle	Epaisseur = $1.1 * 12.45 * f^{1.733}$	21 cm

Epaisseur satisfaisante.

Conclusion :

Il faudra retenir un isolant d'au moins 500 KPa pour vérifier le taux de compression de l'isolant.



B.4 Calcul suivant une approche aux éléments finis

On se propose de garder comme exemple le cas du pavillon avec un isolant de 20 cm sous radier.

4.1 Calcul avec un isolant : CS(10/Y) (KPa) 500 KPa et sol incompressible

Détermination de la raideur :

$$\frac{1}{K_{\text{calcul}}} = \frac{1}{K_{\text{isolant}}} + \frac{1}{K_{\text{sol}}}$$

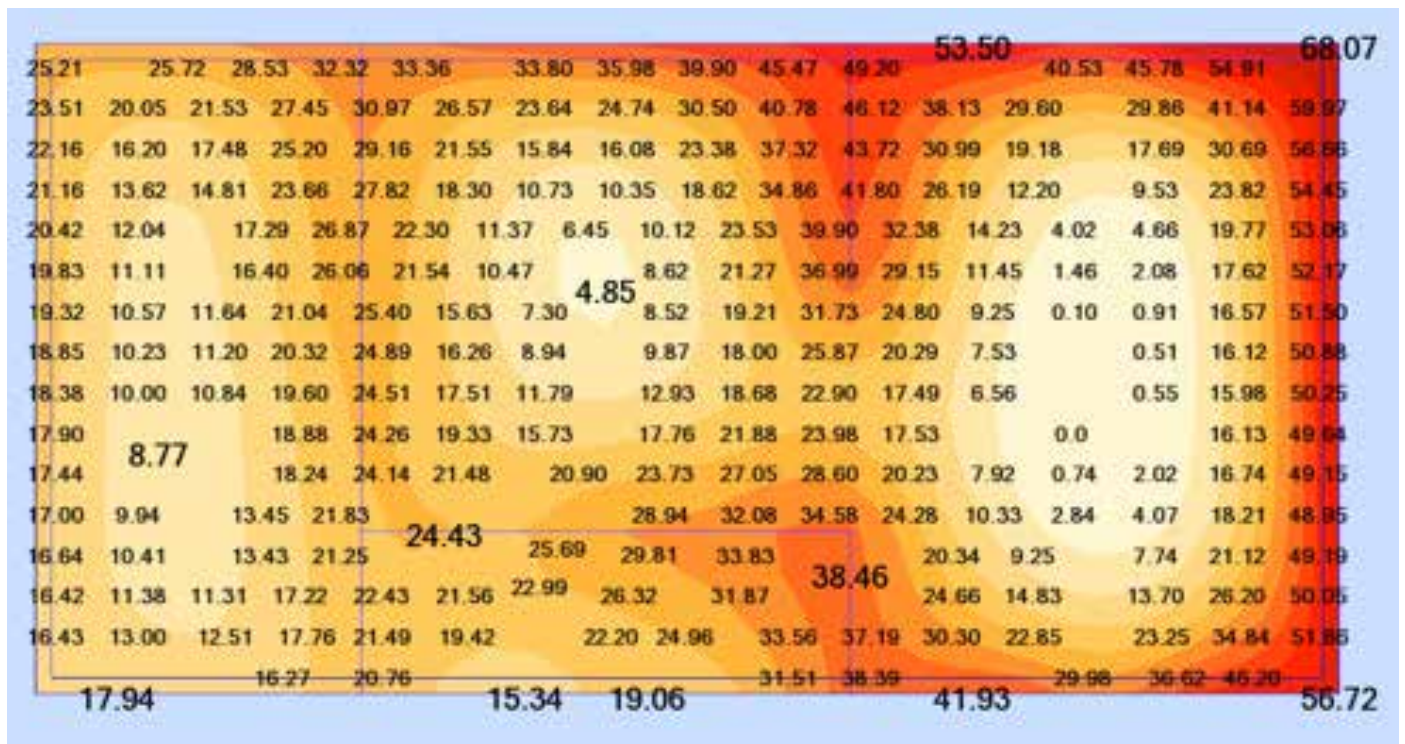
avec

$$K_{\text{isolant}} = \frac{E_{\text{isolant}}}{\text{Epaisseur}_{\text{isolant}}} = \frac{8\,250}{0.20} = 42\,000 \text{ KN/m}^3$$

$$K_{\text{calcul}} \sim 42\,000 \text{ KN/m}^3$$

Compression de l'isolant issue d'une analyse aux éléments finis :

Radier Epaisseur 21 cm suivant le pré-dimensionnement.



Les sollicitations dans l'isolant restent largement inférieures à la sollicitation admissible.

L'approche aux éléments finis permet de mieux calculer les sollicitations réelles dans l'isolant et offre la possibilité d'optimiser les caractéristiques de l'isolant nécessaire.

4.2 Calcul avec un isolant : CS(10/Y) (KPa) 500 KPa et raideur de sol 2 MPa/m

Détermination de la raideur :

$$\frac{1}{K_{\text{calcul}}} = \frac{1}{K_{\text{isolant}}} + \frac{1}{K_{\text{sol}}}$$

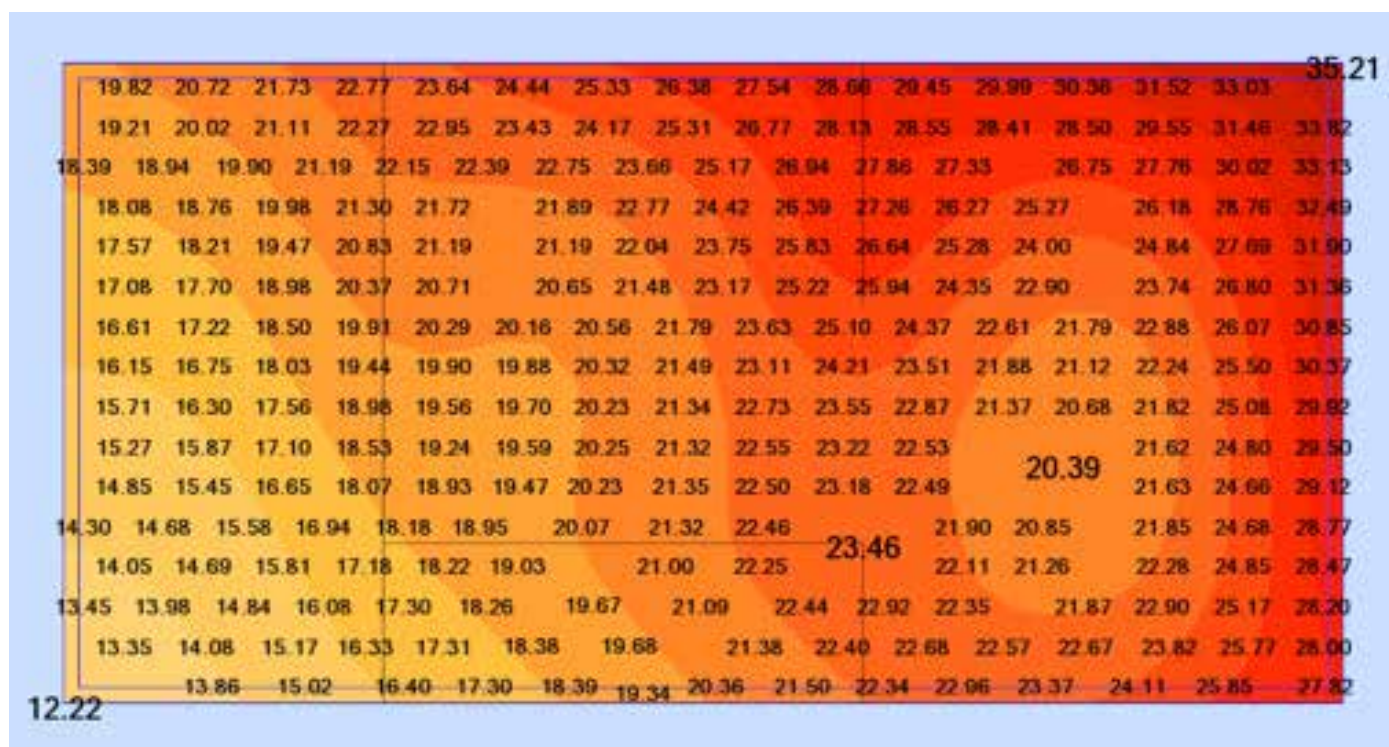
avec

$$K_{\text{isolant}} = \frac{E_{\text{isolant}}}{\text{Epaisseur}_{\text{isolant}}} = \frac{8\,250}{0.20} = 42\,000 \text{ KN/m}^3$$

$$K_{\text{calcul}} \sim \frac{1}{\frac{1}{42\,000} + \frac{1}{2\,000}} = 1\,900 \text{ KN/m}^3$$

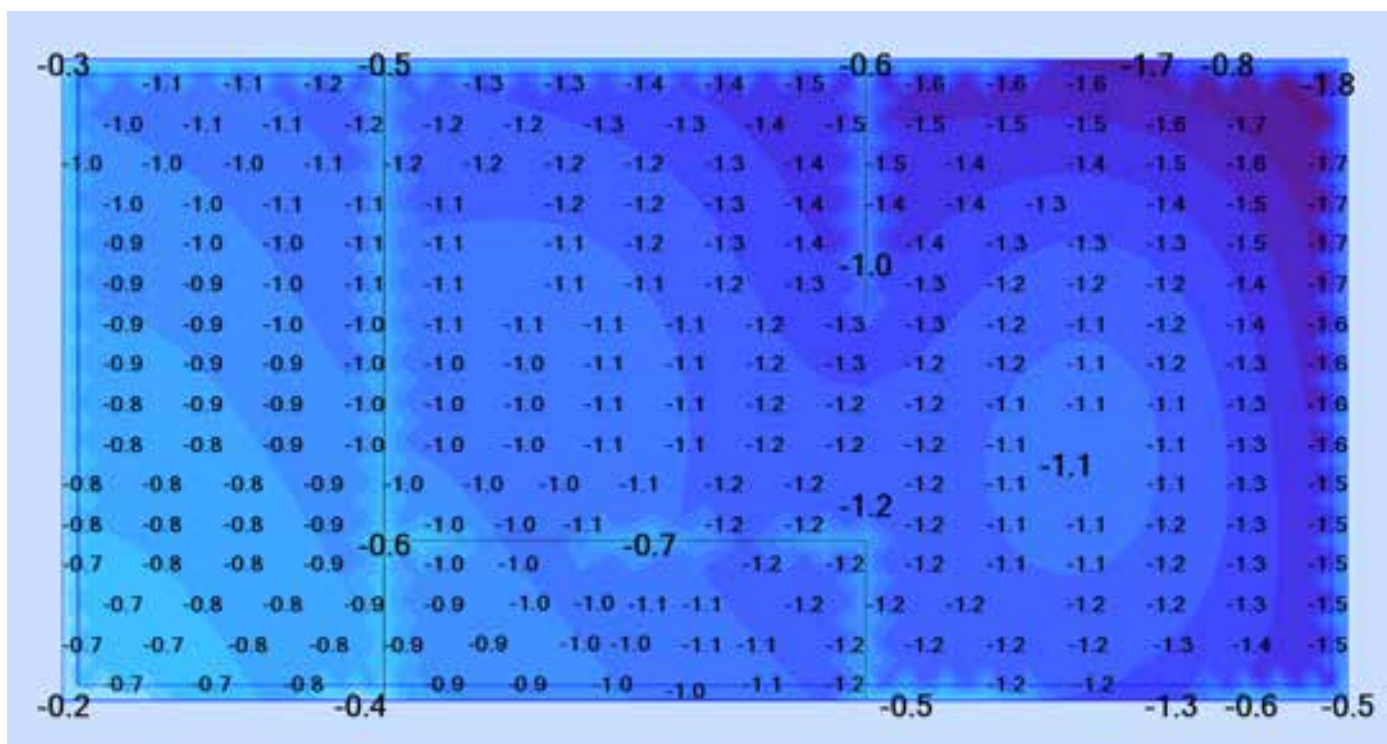
Compression de l'isolant issue d'une analyse aux éléments finis :

Radier Epaisseur 21 cm suivant le pré-dimensionnement.



Les sollicitations dans l'isolant restent largement inférieures à la sollicitation admissible.

Dans ce cas de figure (sol de mauvaise qualité), l'épaisseur du radier sera déterminée vis-à-vis des déformations de la dalle.



Les déformations différentielles étant relativement importantes, l'épaisseur de 21cm n'est éventuellement pas suffisante.

Dans cet exemple, l'effet de l'isolant est totalement négligeable vis-à-vis de la faible raideur du sol : l'épaisseur du radier nécessaire serait identique à celle du radier sans tenir compte de l'isolant.

ANNEXE C : MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT ET TABLEAUX DE PRÉ-DIMENSIONNEMENT DE L'ÉPAISSEUR DE BÉTON VIS-À-VIS DE LA RÉSISTANCE À LA COMPRESSION DE L'ISOLANT

C.1 Méthode de dimensionnement

- **1^{ère} étape** : obtention des données géotechniques du terrain.
- **2^{ème} étape** : obtention des descentes de charge.
- **3^{ème} étape** : Détermination du choix de l'isolant grâce au § 5.2.3.2 ou aux tables de pré-dimensionnement en C.2.
- **4^{ème} étape** : Dimensionnement classique du radier pour limiter sa propre déformation en tenant compte des éléments géotechniques.
- **5^{ème} étape** : Détermination des mesures à prendre concernant le hors-gel selon le §5.2.2.

C.2 Tables de pré-dimensionnement de l'épaisseur de béton en fonction de la résistance à la compression de l'isolant et des charges en présence

Les tableaux ci-dessous indiquent les charges maximales possibles sur l'isolant en fonction du type de charge (ponctuelle, linéaire), de la localisation de la charge (en position centrale, en bord, et en angle du radier), et des caractéristiques de l'isolant (voir §5.2.3.1).

Les résultats ne sont valables que vis-à-vis de la vérification de la compression dans l'isolant. Les vérifications vis-à-vis des déformations du radier restent à vérifier par le BET structure.

Une analyse plus fine de type éléments finis peut permettre de justifier des valeurs de charge admissible plus importantes.

Caractéristiques isolant						
Épaisseur radier	CS(10/Y)			Fc (kPa)		
	300			100		
cm	Charge ponctuelle maxi en KN			Charge lineaire maxi en KN/m		
	Centrale	Bord	Angle	Centrale	Bord	Angle
15	76	11	11	82	25	16
16	81	12	12	86	26	16
17	86	13	13	90	27	17
18	91	14	14	94	28	18
19	97	15	15	98	29	18
20	102	16	16	101	30	19
21	107	17	17	105	31	19
22	112	18	18	109	32	20
23	118	19	19	112	33	20
24	123	20	20	116	34	21
25	128	21	21	119	35	21
26	133	22	22	123	35	22
27	139	24	24	127	36	22
28	144	25	25	130	37	23
29	149	26	26	133	38	23
30	155	27	27	137	39	24



Caractéristiques isolant						
Épaisseur radier	CS(10/Y) 500			Fc (kPa) 250		
	Charge ponctuelle maxi en KN			Charge lineaire maxi en KN/m		
cm	Centrale	Bord	Angle	Centrale	Bord	Angle
15	125	19	19	135	41	26
16	133	20	20	142	43	27
17	142	22	22	148	44	28
18	151	23	23	155	46	29
19	159	25	25	161	48	30
20	168	27	27	167	49	31
21	177	28	28	173	51	32
22	185	30	30	179	52	33
23	194	32	32	185	54	33
24	203	34	34	191	55	34
25	211	35	35	197	57	35
26	220	37	37	203	58	36
27	229	39	39	209	60	37
28	238	41	41	214	61	37
29	246	43	43	220	63	38
30	255	44	44	226	64	39



Caractéristiques isolant						
Épaisseur radier	CS(10/Y)			Fc (kPa)		
	700			230		
	Fcd (kPa)			350		
	Charge ponctuelle maxi en KN			Charge lineaire maxi en KN/m		
cm	Centrale	Bord	Angle	Centrale	Bord	Angle
15	174	26	26	188	57	36
16	186	28	28	198	60	38
17	198	30	30	207	62	39
18	210	33	33	216	64	40
19	222	35	35	224	67	42
20	234	37	37	233	69	43
21	246	40	40	242	71	44
22	258	42	42	250	73	45
23	270	44	44	258	75	47
24	282	47	47	267	77	48
25	295	49	49	275	79	49
26	307	52	52	283	81	50
27	319	54	54	291	83	51
28	331	57	57	299	85	52
29	343	59	59	307	87	53
30	356	62	62	315	89	54



www.xps-isolation.fr

www.exiba-france.fr

www.exiba.org

