

**Zeitschrift:** Tracés : bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 132 (2006)  
**Heft:** 11: Le complexe de la Maladière

**Artikel:** Réaliser un radier en béton étanche  
**Autor:** Marschall, Rolf / Vianin, François  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-99476>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Réaliser un radier en **béton étanche**

GÉNIE CIVIL

**En plus de sa partie visible, le complexe de la Maladière comprend un vaste volume enterré destiné notamment à l'accueil d'un parking. Compte tenu de la proximité du lac, ce volume est immergé dans la nappe phréatique, ce qui imposait de lui garantir une étanchéité parfaite : cette situation peu habituelle a entre autres rendu nécessaire d'ancrer le radier.**

Compte tenu de l'importance de sa partie souterraine, le complexe de la Maladière doit reposer sur des terrains situés à un peu plus de 10 m en dessous du terrain naturel. Les campagnes de reconnaissance de ces sols ont montré que, de 8 à 12 m de profondeur, on a affaire à des remblais hétérogènes et des dépôts lacustres, alors qu'au-dessous, on rencontre des moraines et de la roche à des profondeurs variables. Face à cette situation, il a été décidé d'opter pour un système de fondations constitué d'un radier de 60 cm d'épaisseur, avec des surépaisseurs (80 à 140 cm) localisées au droit des futurs piliers.

## Forte pression hydrostatique

Le niveau supérieur maximal du lac de Neuchâtel est de 430,50 m au-dessus de la mer, ce qui le situe à environ 3 m sous le sol entourant le futur complexe. Lorsque cette cote est atteinte, la construction se trouve donc immergée dans plus de 7,20 m d'eau, ce qui se traduit par une pression hydrostatique supérieure à 70 kN/m<sup>2</sup> sous le radier. Sans mesures particulières, cette pression verticale serait suffisante pour soulever le bâtiment. Elle engendrerait en outre des déformations du radier et des différentes dalles du complexe. Il s'agissait donc de trouver une solution permettant d'assurer la stabilité du bâtiment et de limiter ses déformations, notamment sous le terrain de football, une zone où le poids des structures et des équipements reste relativement faible.

Après avoir analysé différentes variantes (dont une consistant à augmenter l'épaisseur du radier à près de 1,80 m pour accroître son poids propre), le choix s'est porté sur une solution combinant l'utilisation du poids des éléments de la construction avec des pieux en traction, ces pieux devant compenser le manque de charges permanentes dans la

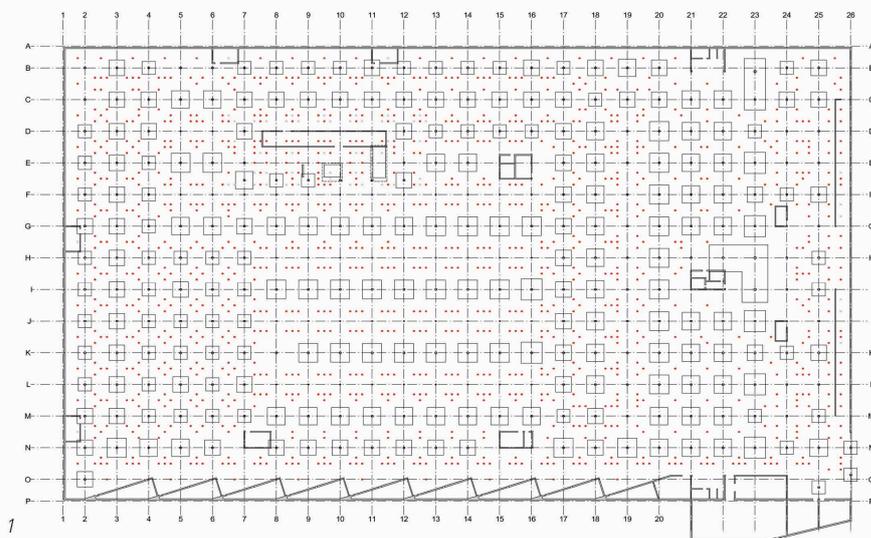


Fig. 1 : Implantation des surépaisseurs du radier et des micropieux

Fig. 2 : Forage des micropieux (Photo Travaux publics de Neuchâtel)

Fig. 3 : Têtes des pieux en traction – avec bloc de Sagex pour créer la niche de mise en tension – et surépaisseurs du radier (Photo Travaux publics de Neuchâtel)

partie centrale, où se trouve le terrain de football. C'est ainsi que quelque 1 100 pieux, constitués d'une barre d'acier de 43 mm de diamètre ayant une profondeur de 11 à 15 m, ont été nécessaires pour assurer l'aptitude au service de l'ouvrage (fig. 1 et 2). La plupart de ces pieux sont ancrés dans la roche ou la moraine. Leur charge d'essai était de 1050 kN alors que la charge de service est de 650 kN. Pour éviter de soumettre des pieux destinés à fonctionner en traction à d'importantes charges de compression, ils ont été disposés hors des zones d'appui des porteurs verticaux. Le nombre et la disposition des pieux ont été déterminés pour les descentes de charges minimales des piliers et murs porteurs.

### Concept d'étanchéité du radier

Si la nappe phréatique a été rabattue à l'intérieur d'un rideau de palplanches durant les travaux, le projet prévoyait de la laisser remonter à son niveau naturel une fois les sous-sols réalisés. Pour ce faire, il était impératif de garantir une étanchéité parfaite de la partie située dans la nappe phréatique, ce qui a rendu nécessaire la mise au point d'un concept d'étanchéité particulièrement efficace. Ce concept a été développé de concert avec le professeur Franz Zahn de l'école d'ingénieurs de Constance, le bureau d'ingénieurs *Ribi+Blum AG* ainsi que les maisons *SIKA* et *Permaton* et la collaboration du bureau *ICA SA*.

Le choix s'est porté sur le système connu sous le nom de « Weisse Wanne » (voir encadré, p. 20), un procédé qui prévoit que l'étanchéité soit assurée par le béton traité « étanche ». Dans un tel système, les parties d'ouvrage enterrées – comme le radier et les murs contre terre – ne jouent pas uniquement un rôle statique visant à assurer les fondements de l'ouvrage, mais servent également d'écran de retenue pour les eaux souterraines.

Dans cette optique, l'ensemble composé du radier et des murs a été réalisé sans véritables joints de dilatation. Les joints de travail, indispensables lors de la réalisation d'un ensemble radier et murs de cette importance (215 m par 115 m), ont été traités de manière à engendrer des fissures prévisibles et font partiellement office de joints de dilatation.



2



3

Fig. 4 : Tête d'un micropieux au stade de construction, à proximité d'un joint de travail entre deux étapes de bétonnage du radier

Fig. 5 et 6 : Espace libre pour permettre le mouvement du radier sans endommager les têtes de pieu, lors du bétonnage et après mouvement (Photo 6 Travaux publics de Neuchâtel)



Ils réduisent les efforts parasites qui se développent inévitablement dans ce genre de structure. Par ailleurs, tous les joints de travail ont été pourvus de bande d'étanchéité afin d'éviter les infiltrations d'eau au droit de ces points faibles (fig. 4). Le concept prévoyait en outre qu'une attention toute particulière soit portée à la qualité des bétons, à l'ouverture des fissures, aux dimensions des étapes de bétonnage ainsi qu'aux traitements ultérieurs des bétons frais.

Pour être étanche, un radier soumis à des conditions aux limites comme celles rencontrées à la Maladière – entraves aux variations dimensionnelles par les étapes voisines, frottements du radier sur le sol de fondation, etc. – requiert un dimensionnement pour des exigences élevées selon les normes SIA<sup>1</sup>. D'autre part, le radier va rétrécir sous l'effet du retrait, entraînant un mouvement horizontal risquant de provoquer un cisaillement des pieux au niveau de leur tête.

#### Modélisation du radier

L'étude portait sur les mouvements provenant de la réduction de la chaleur d'hydratation du béton lors de sa prise. Le concept de radier sur couche de glissement retenu autorise les différentes étapes de bétonnage à glisser quasi librement sur le sol de fondations lors des variations dimensionnelles liées à la baisse de chaleur d'hydratation. Cette liberté de mouvement n'engendre que de faibles forces de frottement, réduisant d'autant les armatures du radier. Les entraves aux

<sup>1</sup> Les exigences élevées ont pour principal objectif de limiter l'ouverture des fissures pour des cas de charges quasi permanents ou fréquents.



5



6

raccourcissements – nées des différences du retrait entre les étapes voisines – imposent par contre une augmentation des armatures sur les bords de contact.

Une étude sur une période d'une année était suffisante: au-delà de ce délai, le radier suit les mouvements du sol de fondation, il ne subit pratiquement plus de variation de température alors que le retrait résiduel est minime, compte tenu des faibles variations de température.

Dans son principe, le système de radier sur couche glissante paraît simple. De nombreux détails constructifs doivent cependant être résolus de manière à garantir une réelle mobilité du radier. Il faut toutefois rester conscient qu'une liberté totale du radier n'est que théorique: des entraves de diverses natures subsistent toujours et doivent être prises en compte dans les calculs de dimensionnement du radier.

### Réduction des entraves aux mouvements

Le radier a été calculé pour un mouvement maximal de 10 à 20 mm par rapport au sol de fondation, ceci dans chacune des directions principales.

Les mouvements du radier sont entravés par :

- l'ancrage des têtes de pieux dans le radier,
- les forces de frottement du radier sur le sol de fondation,
- l'augmentation des forces de frottement sous les surépaisseurs du radier au droit des porteurs,
- les forces de butées engendrées par les parties d'ouvrage débordant sous le radier (surépaisseurs, fosses d'ascenseurs, etc.),
- les forces de butées agissant contre les fosses de pompage ou les regards de contrôle.

### Têtes de pieux ancrées dans le radier

Pour permettre le glissement du radier et éviter le cisaillement des pieux, un espace libre doit être maintenu temporairement entre les têtes de pieux et le radier (fig. 5 à 7) afin de remplir les conditions suivantes :

- ne pas entraver les mouvements du radier pendant les travaux,
- assurer un ancrage des pieux permettant la transmission d'une charge de traction de 650 kN au stade final,
- garantir l'étanchéité du système pour une pression correspondant à plus de sept mètres de hauteur d'eau.

L'étanchéité des têtes de pieux est réalisée à l'aide de manchettes de serrage en caoutchouc, mises en place après l'achèvement du gros-œuvre, juste avant la mise hors service des pompes. Cette manchette a pour fonction de rendre étanche l'espace entre l'armature de traction du pieu et sa gaine de protection.

Après le scellement au mortier de ciment de l'ouverture permettant au radier de glisser, on procède à la pose de la plaque d'ancrage et de l'écrou de serrage. La niche dans le radier reste ouverte pour observer la qualité de l'étanchéité et, le cas échéant, procéder à des injections dans les zones non étanches. L'exécution du revêtement définitif sur le radier a été faite le plus tard possible, soit près de trois mois après la mise hors service des pompes.

### Frottement du radier sur le sol de fondation

Il a été admis que le radier repose principalement sur des matériaux graveleux. Aux endroits où la roche affleure, celle-ci a été tassée sur 20 cm et remplacée par une couche de gravier. De ce fait, le radier peut glisser sur le sol de fondation, même sans séparation par une feuille plastique. Compte

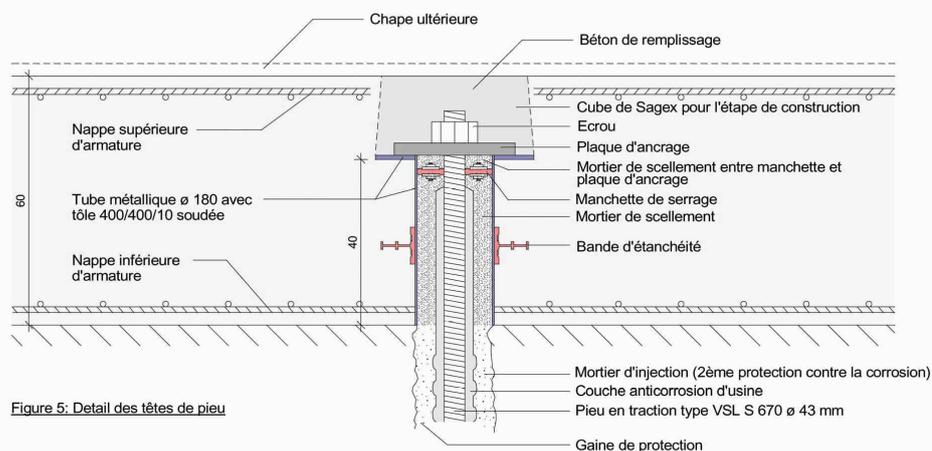
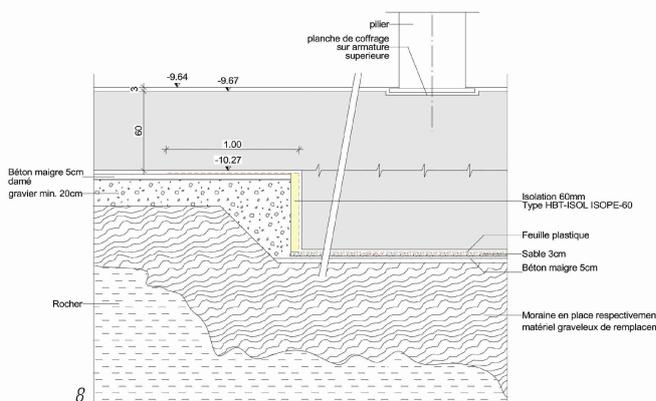


Figure 5: Détail des têtes de pieu

Fig. 8 : Détail pour la couche de glissement sous les surépaisseurs du radier  
(Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs)



tenu de la réalisation du radier en béton coulé sur place, on peut admettre que le coefficient de frottement entre le sol et la fondation est défini à partir de l'angle de frottement interne du sol. Le plan de cisaillement se situe sous le béton maigre, dans le sol sous-jacent. La force de frottement est calculée à partir de la loi de Coulomb :

$$F = \mu \cdot G$$

où  $\mu = \tan \delta_s$  avec  $\delta_s = \varphi'$

- avec :
- F force de frottement
  - $\mu$  coefficient de frottement
  - G poids propre du radier
  - $\delta_s$  angle de frottement sol-fondation
  - $\varphi'$  angle de frottement interne du sol (37,5°).

#### Forces de frottement sous les surépaisseurs du radier

Les charges verticales agissant au droit des surépaisseurs du radier sont évidemment bien plus importantes, ce qui conduit naturellement à une augmentation des forces de frottement agissant sur le radier. Afin de réduire ces der-

### Béton étanche

Contrairement aux étanchéités bitumineuses ou synthétiques, il n'existe pas à ce jour de norme SIA pour les cuvelages en béton étanche. Ce genre de cuvelage, appelé communément « Weisse Wanne » ou « cuve blanche », est une construction en béton brut armé, étanche à l'eau souterraine (ruissellement ou nappe phréatique) et comprenant des joints étanches. Ce procédé ne recourt à aucun autre système d'étanchéité rapporté sur la structure, ce qui évite tout risque d'endommagement lors du remblayage. Le planning d'exécution peut en outre être amélioré en réduisant au minimum le délai entre le décoffrage et le remblayage. Comme tout ouvrage armé, les constructions en béton étanche seront fissurées et le projet doit impérativement passer par une étude détaillée de la fissuration.

Les caractéristiques du béton mis en place sont traditionnelles pour des parties d'ouvrage soumises à l'eau (classe XC4 selon SN EN 206-1 :2000) et n'engendrent donc pas de plus-value ; le béton ne comprend l'ajout d'aucun produit étanche « miracle » et peut être simplement défini comme un béton à propriétés spécifiées type NPK C (selon CAN et norme SN EN 206-1) :

- classe de compression : C 30/37
- classes d'exposition : XC4 (alternance sec-humide)

- diamètre nominal des granulats : Dmax 32
- classe de teneur en chlorure : Cl 0,10
- classe de consistance : C3
- béton « étanche » dans l'esprit de la norme SIA 162/1

La classe d'exposition XC4 implique un dosage en ciment d'au moins 300 kg /m<sup>3</sup> et un rapport E/Cmax < 0,5. Cette dernière condition nécessite l'ajout d'un adjuvant de type plastifiant-superfluidifiant (dosé généralement à env. 1%), lequel constitue la seule « chimie » présente dans ces bétons.

Une épaisseur minimale de 25 cm est par ailleurs exigée pour pouvoir assurer des garanties étendues.

Dans le cas de la Maladière, la mise en place du béton et des joints d'étanchéité a été soumise à un plan d'assurance qualité qui a permis au fournisseur du concept d'étanchéité d'offrir une garantie (dix ans à hauteur de 10 millions de francs) allant bien au-delà de celle prévue par les normes SIA. La surveillance du chantier a été assurée par la présence de spécialistes lors de tous les bétonnages et par le contrôle de la qualité et de la mise en place du béton (vibration et cure). Des essais sur béton frais et durci sont en outre réalisés très régulièrement tout au long du chantier.

Michel Duinker, architecte EPFL  
Sika Schweiz AG, CH – 1026 Echandens

nières, on a disposé, entre le béton maigre et le dessous de la fondation, une feuille de plastique reposant sur une couche de sable de 3 cm (fig. 8). Des essais effectués à l'école d'ingénieur de Constance ont permis de démontrer que ce mode d'exécution permettait de ramener le coefficient de frottement à des valeurs comprises entre 0,5 et 0,7.

#### Eléments débordant sous le radier

Le matériau compressible à appliquer contre les parois des éléments débordant sous le radier devait conserver une compressibilité résiduelle après le bétonnage. Cette compressibilité résiduelle devait encore être suffisante pour permettre au radier de glisser lors de son retrait. Le *Sagex*, trop dur, ne convient pas dans ce cas. Le choix s'est porté sur un produit de *HBT-isol*: ISOPE 60, d'une épaisseur de 60mm. Les matelas compressibles ont été placés comme couche de séparation entre les bétons maigres et les faces verticales des surépaisseurs du radier, respectivement les parois des fosses des ascenseurs ou des monte-charges. Ils sont recouverts d'une feuille de plastique qui les protège du béton frais.

Pour éviter une compression excessive de ces matelas sous l'action du béton frais lors du bétonnage des surépaisseurs de grandes dimensions, celles-ci ont été coffrées de manière traditionnelle, puis revêtues ultérieurement de ces matelas (fig. 8).

#### Eléments situés sous le radier

Les parties d'ouvrage solidaires du radier – fosses de pompage d'une profondeur de 1 à 3 m, regards de contrôle, etc. – subissent les mêmes déplacements que ce dernier. Tous ces éléments constituaient également des entraves au glissement du radier: on a donc d'abord procédé au bétonnage du radier, celui des éléments s'opposant à son mouvement libre n'ayant été effectué qu'une fois les glissements terminés, soit environ six mois après le bétonnage du radier.

Rolf Marschall, ing. civil FHS  
Ribi + Blum AG  
Konsumhof 3, CH – 8590 Romenshorn

François Vianin, ing. civil HES  
ICA SA – Ingénieurs Civils Associés SA  
Route des Daillettes 21, CH – 1705 Fribourg

# Ouvrez un bureau où vous voulez.



## sunrise surf & talk:

sunrise renverse les barrières des télécommunications. Pour tous ceux qui veulent un accès le moins cher possible pour téléphoner et surfer sur Internet même sans raccordement fixe. Partout où vous avez un raccordement au réseau mobile. Faites de votre bureau ou de votre chantier un hotspot le plus simplement du monde. Dès maintenant auprès de votre revendeur sunrise ou sous [www.sunrise.ch/surfandtalk](http://www.sunrise.ch/surfandtalk)

Let's talk business

