

Rapport sommaire sur l'évaluation de la performance en service d'un système d'isolation des sous-sols par l'extérieur – Mousse de polyuréthane pulvérisée

Préface

Le présent rapport résume les conclusions du projet intitulé « *Évaluation de la performance in-situ d'un système d'isolation des sous-sols par l'extérieur – Mousse de polyuréthane pulvérisée* » qui sont énoncées dans un état d'avancement plus détaillé¹.

Introduction

L'isolation extérieure du sous-sol remplit de nombreuses fonctions. Elle fournit non seulement une résistance thermique entre le sol et l'intérieur, mais aussi protège la structure contre un environnement rigoureux (p. ex. l'humidité des sols détrempés, le soulèvement et l'adhérence du sol en raison du gel). Elle constitue un moyen de maîtrise de l'eau à l'interface du sol et de l'isolant, tout en favorisant l'assèchement de la fondation. Étant donné cette multitude de fonctions, il est important de définir des paramètres de performance afin d'utiliser les matériaux appropriés.

La Canadian Urethane Foam Contractors Association et l'Institut de recherche en construction ont lancé un projet de recherche conjoint visant à évaluer la performance thermique en service de la mousse de polyuréthane pulvérisée (MPP) appliquée sur l'extérieur des murs de sous-sol.

En octobre 1995, deux spécimens de MPP mesurant 1 220 mm de largeur ont été installés sur des murs extérieurs du sous-sol de la maison expérimentale n° 1 située sur le campus du CNRC, chemin Montréal à Ottawa. Ces spécimens étaient conformes à la norme CAN/ULC-S705.1-98¹, « Norme sur l'isolant thermique en mousse de polyuréthane rigide pulvérisée, de densité moyenne ». Ils ont été équipés d'instruments avant le remblayage et leur performance thermique a été surveillée pendant deux années complètes.

Objectifs

Ce projet a été entrepris afin d'étudier les effets de l'environnement sur l'isolant de mousse de polyuréthane pulvérisée appliqué sur la face extérieure des murs de sous-sol. L'isolant a été exposé au climat d'Ottawa et aux conditions du sol

¹ En novembre 1998, la Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies a accepté la norme CAN/ULC-S705.1-98 comme document de remplacement de la norme ONGC 51.23-92. Puisque les exigences techniques sont demeurées inchangées, le produit de MPP mis à l'essai peut être considéré conforme à la norme CAN/ULC-S705.1-98.

pendant deux ans et demi, d'octobre 1995 à juin 1998. Le monitoring officiel a été entrepris en juin 1996. Les principaux facteurs de performance suivants de l'isolant de MPP ont été analysés : la résistance thermique en service ainsi que la conductivité thermique et la résistance à la compression, ces dernières ayant été mesurées toutes deux en laboratoire. Ces facteurs de performance ont été analysés dans les conditions suivantes :

- exposition prolongée à un environnement souterrain;
- variations mesurées des conditions environnementales locales, c.-à-d. les changements de température du sol, de teneur en eau du sol et de température de l'air environnant à l'intérieur et à l'extérieur;
- propriétés mesurées en laboratoire avant et après exposition.

Méthodologie

Les spécimens de MP ont été pulvérisés sur deux segments de 1 220 mm de largeur et sur la pleine hauteur de la face extérieure de murs du sous-sol de la maison expérimentale n° 1 du campus principal du CNRC à Ottawa. Leur performance a été surveillée selon une stratégie élaborée pour le monitoring de la performance thermique en service des isolants de couverture^{2,3}. Des panneaux de polystyrène expansé de 25 mm d'épaisseur et thermiquement étalonnés ont été installés sur toute la surface intérieure des murs de sous-sol. Des thermocouples ont été placés systématiquement à la surface de chaque élément dans le mur, en une batterie verticale constituée de 16 points de mesure par spécimen. Le schéma de la figure 1 illustre cette disposition. De plus, des fluxmètres thermiques ont été installés à trois hauteurs différentes.

L'écart de température mesuré entre les deux côtés de la couche d'isolant étalonné a été utilisé pour calculer de façon continue le profil du flux thermique pénétrant dans le mur. Une analyse détaillée du transfert de chaleur à travers le mur a permis d'évaluer le flux thermique résultant dans chaque spécimen d'isolant extérieur. À partir de ce flux thermique et de l'écart de température entre les deux faces des spécimens, on a pu calculer la résistance thermique apparente en service des spécimens.

Les conditions limites, y compris les températures et teneurs en eau du sol, ont été enregistrées ainsi que les conditions climatiques extrêmes. Quatre analyses de sol distinctes ont été effectuées pour caractériser les conditions du sol, y compris les profils verticaux de teneur en eau. L'annexe C contient un rapport de caractérisation du sol. Cette information a été utilisée pour qualifier les différences dans la performance thermique observée des spécimens.

Spécimens et installation

L'essai consistait à installer un spécimen de MPP sur chacun des murs de sous-sol est et ouest de la maison expérimentale n° 1. Les spécimens ont été équipés d'instruments comme l'illustre la figure 1.

Deux différentes méthodes d'installation, étiquetées système 1 et système 2, ont été utilisées pour les murs ouest et est respectivement. Le système 1, sur le mur ouest (fig. 2), comportait deux rangées horizontales de profilés métalliques en Z séparées par une cale de bois, le tout fixé à la solive de rive. Une fois l'isolant mis en place, des panneaux de revêtement cimentaire ont été fixés aux profilés en Z et à la cale de bois. Aucune autre fixation n'a été utilisée, ce qui fait que le panneau cimentaire était, en fait, suspendu devant les spécimens d'isolant. Une pente de 5° en direction du mur a été donnée à la surface du sol pour simuler les conditions d'un sol après tassement.

Le système 2, installé sur le mur est (fig. 3), comportait des profilés de support métalliques en Z placés verticalement entre les différents spécimens d'isolant. Les profilés en Z étaient fixés directement au mur de béton et à la solive de rive en bois du côté intérieur et le panneau cimentaire était fixé aux profilés en Z. De cette façon, chaque profilé en Z métallique constituait un pont thermique contournant l'isolant. Pour le système 2, une pente initiale positive de 5° a été donnée au sol.

Régulation des conditions intérieures

La maison expérimentale a été chauffée en hiver et climatisée en été. La température intérieure a initialement été réglée à 21 °C. Après une période initiale de surveillance au cours du premier été, cette température a été augmentée à 23 °C afin d'accroître la précision de la surveillance pendant les saisons de transition.

Il n'y a pas eu de régulation de l'humidité relative intérieure, mais une déshumidification s'est probablement produite accessoirement, pendant l'été, sous l'effet de la climatisation.

Le système d'évacuation des eaux comportait une pompe de puisard. Un niveau d'eau assez élevé (au niveau de la semelle) dans le puisard a été observé au cours des 200 premiers jours de surveillance. Au jour 215, les commandes de la pompe ont été modifiées afin de maintenir le niveau d'eau dans le puisard à environ 300 mm au-dessous des semelles.

Résultats

Profils de température à travers le mur à mi-hauteur

La figure 4 illustre les températures enregistrées pendant deux ans à quatre endroits à travers le mur vis-à-vis du spécimen W6 : aux deux faces du béton, à la surface intérieure et à la surface extérieure du spécimen en contact avec le sol. La surface intérieure du mur s'est maintenue près de 21 °C, avec peu de variations tout au cours des deux années. Il est facile de repérer à partir de ces données les événements principaux ayant eu un effet sur la régulation comme les pannes de courant et les passages du chauffage à la climatisation et

vice versa. Les températures des deux faces du béton sont assez proches l'une de l'autre (puisque le béton est un mauvais isolant thermique) et ont varié entre 15 °C l'hiver et 20 °C l'été.

La courbe la plus basse du graphique correspond aux températures de l'interface isolant-sol. Ces températures varient entre environ 5 °C en hiver jusqu'à un maximum d'environ 20 °C en été.

Les crêtes périodiques de cette courbe correspondent aux événements enregistrés de fortes précipitations ou de dégels hivernaux. Le 8 août 1996, une pluie ayant une probabilité de survenir une fois en 75 ans est tombée sur Ottawa, ce qui a causé une inondation locale autour de la maison expérimentale. Au cours de cet orage, la température à l'interface isolant-sol a augmenté, apparemment en raison de l'écoulement d'eau pluviale chaude le long du mur. Ces hausses ont été observées aux thermocouples situés à mi-hauteur, en partie basse et à la base du mur, ce qui permet de retracer le passage de l'eau. Ces hausses sont beaucoup moins notables en position haute, où la température du sol était plus proche de celle de l'eau de pluie.

Les déviations de la courbe de température en hiver à l'interface sol-isolant sont vers le bas car la température de l'eau de fonte est initialement de 0 °C, ce qui refroidit le sol et l'isolant à l'interface.

La figure 5 montre les températures mesurées sur le mur est de la maison expérimentale pour le même produit isolant que le spécimen utilisé sur le mur ouest et visé par le graphique de la figure 4. Au cours de la première année, ces fluctuations périodiques de la température ont souvent été plus faibles ou absentes sur le mur est, où la surface du sol avait une pente appropriée à l'opposé du mur. Cette absence relative de fluctuations de température peut être observée à la figure 6 pendant le premier hiver.

Au cours de la seconde année, toutefois, les différences entre les murs est et ouest sont moins notables et les fluctuations de température sont alors assez faciles à repérer. Un examen final des pentes du sol près du mur a révélé qu'à la fin de la seconde année, la plupart des pentes s'étaient affaissées vis-à-vis du mur est et étaient alors, pour la plupart, en direction du mur.

Performance thermique en service

Les figures 6 et 7 montrent les courbes de résistance thermique des spécimens sur la face ouest (a) et sur la face est (b). Les variations de résistance thermique sont indiquées pour chaque semaine au cours des deux saisons de chauffe. Les principales observations sont les suivantes :

- tous les spécimens offrent un rendement relativement stable tout au long des saisons de chauffe;

- tous les spécimens montrent un rendement supérieur ou égal pendant la deuxième saison de chauffe;
- les résultats pour les périodes chaudes sont peu fiables puisque l'écart de température entre les deux faces des spécimens était très faible ($< 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Pendant ces périodes, l'erreur de mesure des thermocouples peut être aussi grande que l'écart de température réel;
- au jour 215, des corrections ont été apportées à la régulation de la pompe de puisard. Les niveaux d'eau autour de la semelle ont été progressivement abaissés. Le raccordement à la pompe de puisard est plus près des spécimens W5 et W6;
- les grandes périodes de pluie et de dégel ne semblent pas avoir eu d'effets significatifs sur la résistance thermique des spécimens.

Analyse

Les observations générales suivantes ont été faites suite aux résultats de ces essais.

1. La surveillance *in situ* de la performance thermique des spécimens montre une résistance thermique¹ stable au cours des deux années de surveillance. Dans la plupart des cas, il y a eu une amélioration de la résistance thermique des spécimens au cours de la deuxième saison de chauffe; cela pourrait s'expliquer par les conditions de sol plus sèches qui ont prévalu au cours de la deuxième année.
2. D'après les profils de température à l'interface spécimen-sol et d'après les observations correspondantes aux périodes de fortes pluies ou de dégel, l'eau semble s'écouler en surface des spécimens seulement. Cela semble avoir un effet négligeable sur la performance thermique des spécimens. Il y a des preuves incontestables que l'isolant de MPP a protégé la structure de béton au cours de ces périodes (aucune fluctuation des températures de la face intérieure et surfaces intérieures propres observées après retrait de l'isolant).
3. Les valeurs mesurées de perméabilité à la vapeur d'eau des échantillons de MPP récupérés étaient conformes à celles déclarées dans la documentation des fabricants.
4. La teneur en eau mesurée des échantillons de MPP récupérés était très basse. De faibles variations ont été notées entre la partie supérieure et la partie inférieure des spécimens d'origine et toutes les mesures indiquaient une basse teneur en eau.
5. Lors des essais en laboratoire et après récupération et séchage des spécimens, les résistances à la compression des échantillons de MPP étaient légèrement supérieures à celles des échantillons mis à l'essai au début des essais.
6. D'autres échantillons enrobés d'une enveloppe de polyéthylène semblaient avoir des caractéristiques de résistance thermique et de rejet de l'eau similaires à celles des échantillons sans protection. Les données laissent supposer que, par un mécanisme quelconque, il peut même y avoir plus de circulation d'eau à l'interface sol-polyéthylène qu'à l'interface du sol et des autres spécimens.
7. Le système d'installation n° 1 (profilés en Z horizontaux fixés à la solive de rive) permettait d'obtenir une résistance thermique constamment supérieure du système par rapport à celle du système d'installation n° 2 (profilés en Z verticaux fixés au béton).

¹ Le processus de vieillissement est ralenti parce que la mousse de polyuréthane a été projetée sur la surface sèche d'un béton vieilli. En principe, on peut considérer que la MPP de densité moyenne et de 76 mm d'épaisseur est exposée au vieillissement d'un seul côté.

8. Les paramètres suivants de la MPP utilisée sur l'extérieur des murs de sous-sol semblent avoir un effet faible ou nul sur la résistance thermique observée des spécimens au cours de l'essai :
- durée d'exposition;
 - température moyenne du spécimen;
 - circulation d'eau à la surface extérieure;
 - cycles de gel-dégel.

Conclusions

Dans cet essai et dans les conditions enregistrées au cours de la période de surveillance de deux ans, les spécimens d'isolant de MPP installés comme isolant extérieur de sous-sol ont montré une résistance thermique stable et soutenue dans le sol.

La capacité de maîtrise de l'humidité de ces spécimens de MPP non protégés et enterrés a été confirmée tant par la résistance thermique soutenue tout au cours des deux années de surveillance que par la faible teneur en eau mesurée sur les spécimens une fois enlevés.

L'essai effectué sur les spécimens de mousse de polyuréthane de 76 mm d'épaisseur pulvérisée sur les surfaces extérieures de murs de sous-sol en béton permet de conclure que les principaux facteurs de performance, à savoir la résistance thermique en service, la résistance à la compression et la teneur en eau, sont tous demeurés à un très bon niveau.

Document de référence

1. Swinton, M.C.; Bomberg, M.T.; Maref, W.; Normandin, N. et Marchand, R.G.; *In-Situ Performance Evaluation of Exterior Insulation Basement System (EIBS) - Spray Polyurethane Foam*, 2000. 41 p. (A-3132.3)

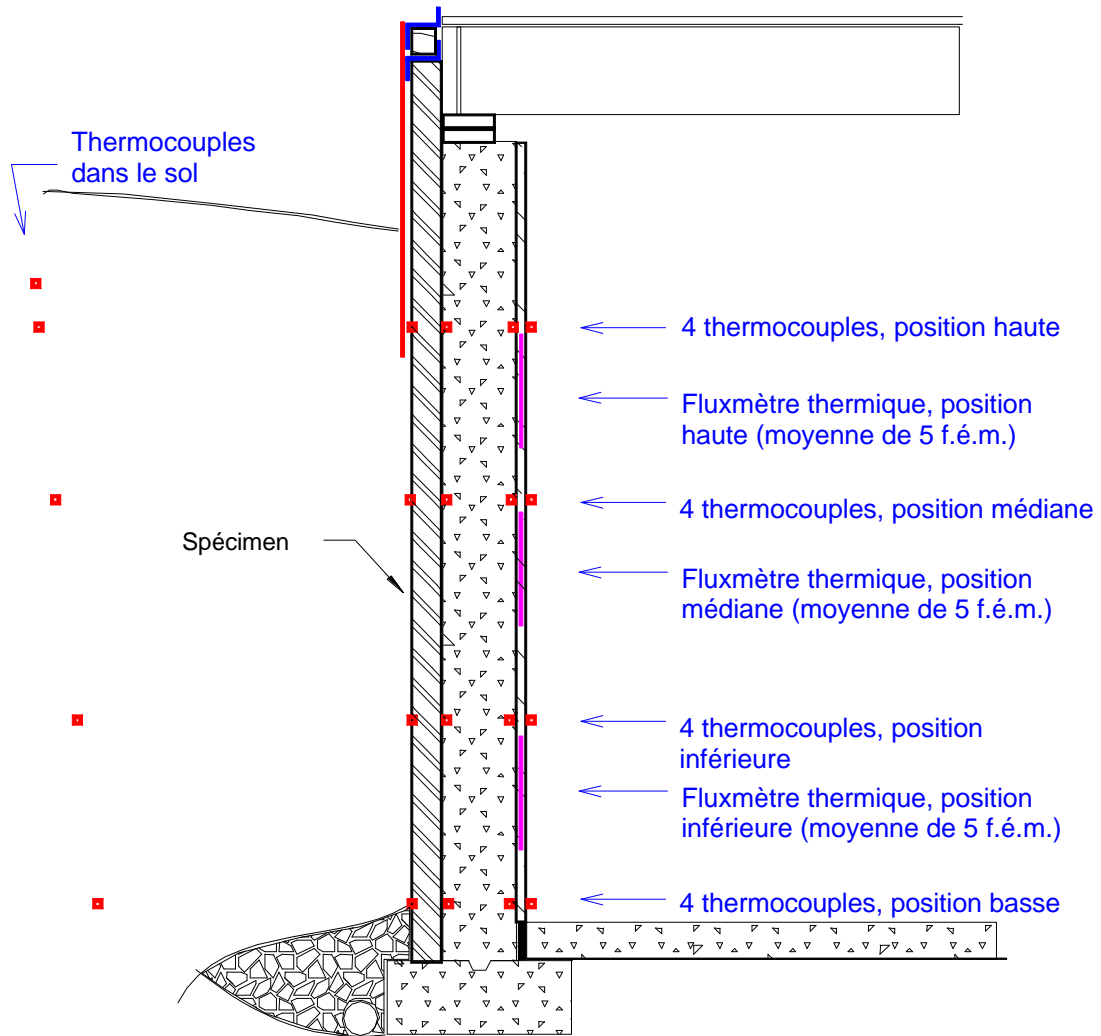


Figure 1. Disposition générale des spécimens d'isolant et des capteurs

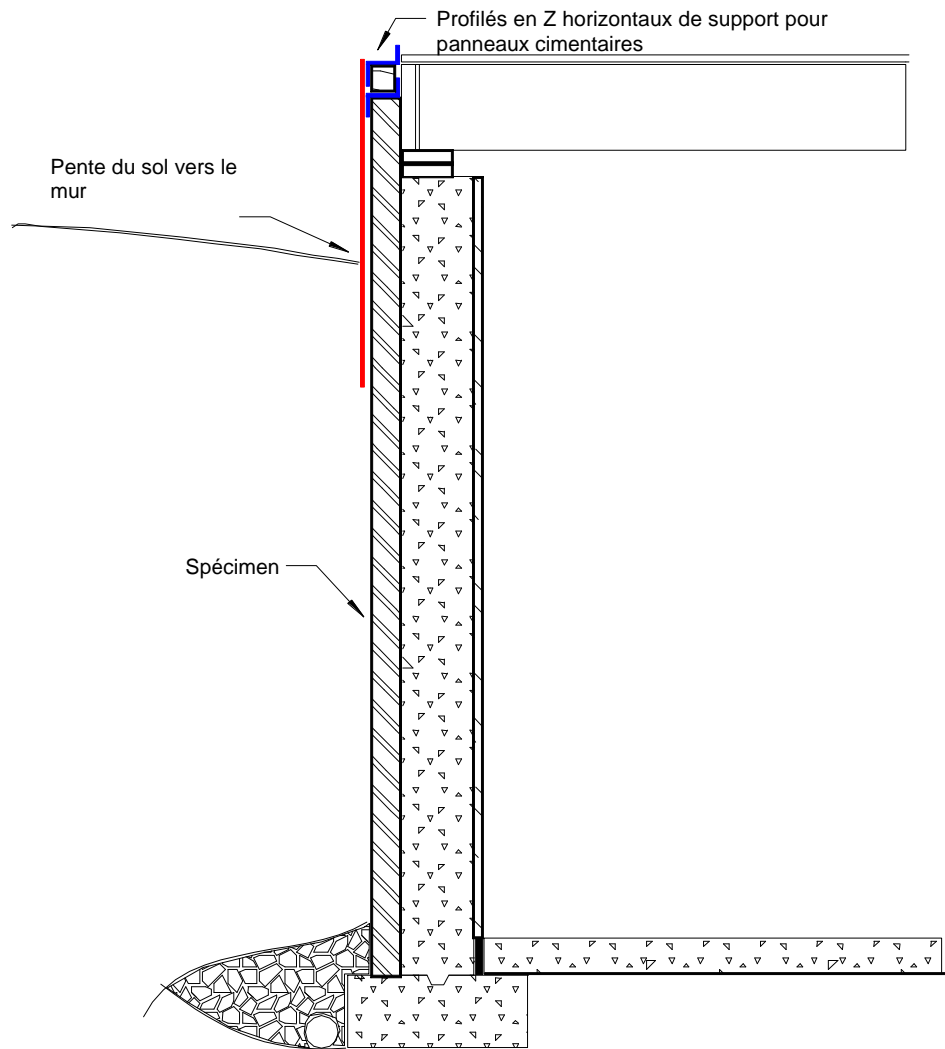


Figure 2. Système d'installation n° 1 pour dispositif protecteur hors sol – mur ouest

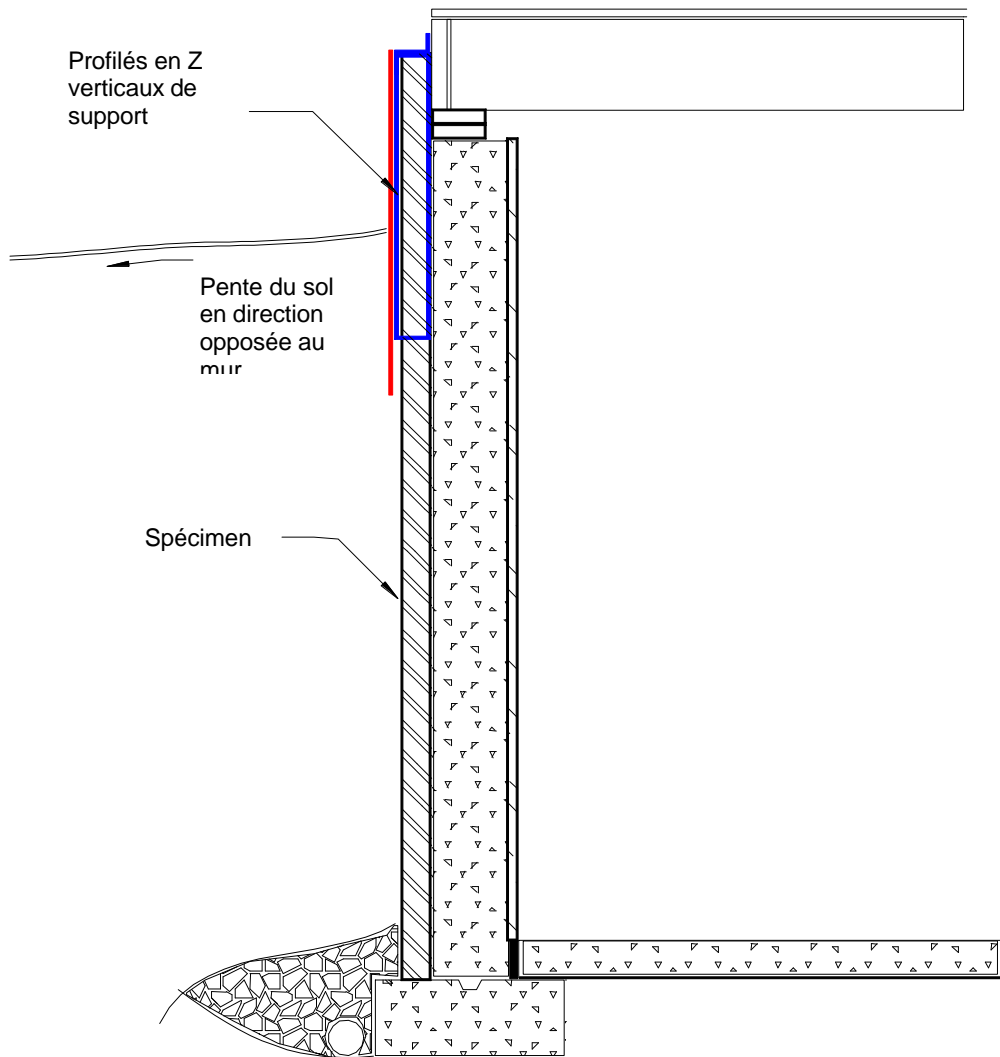


Figure 3. Système d'installation n° 2 pour dispositif protecteur hors sol - mur est

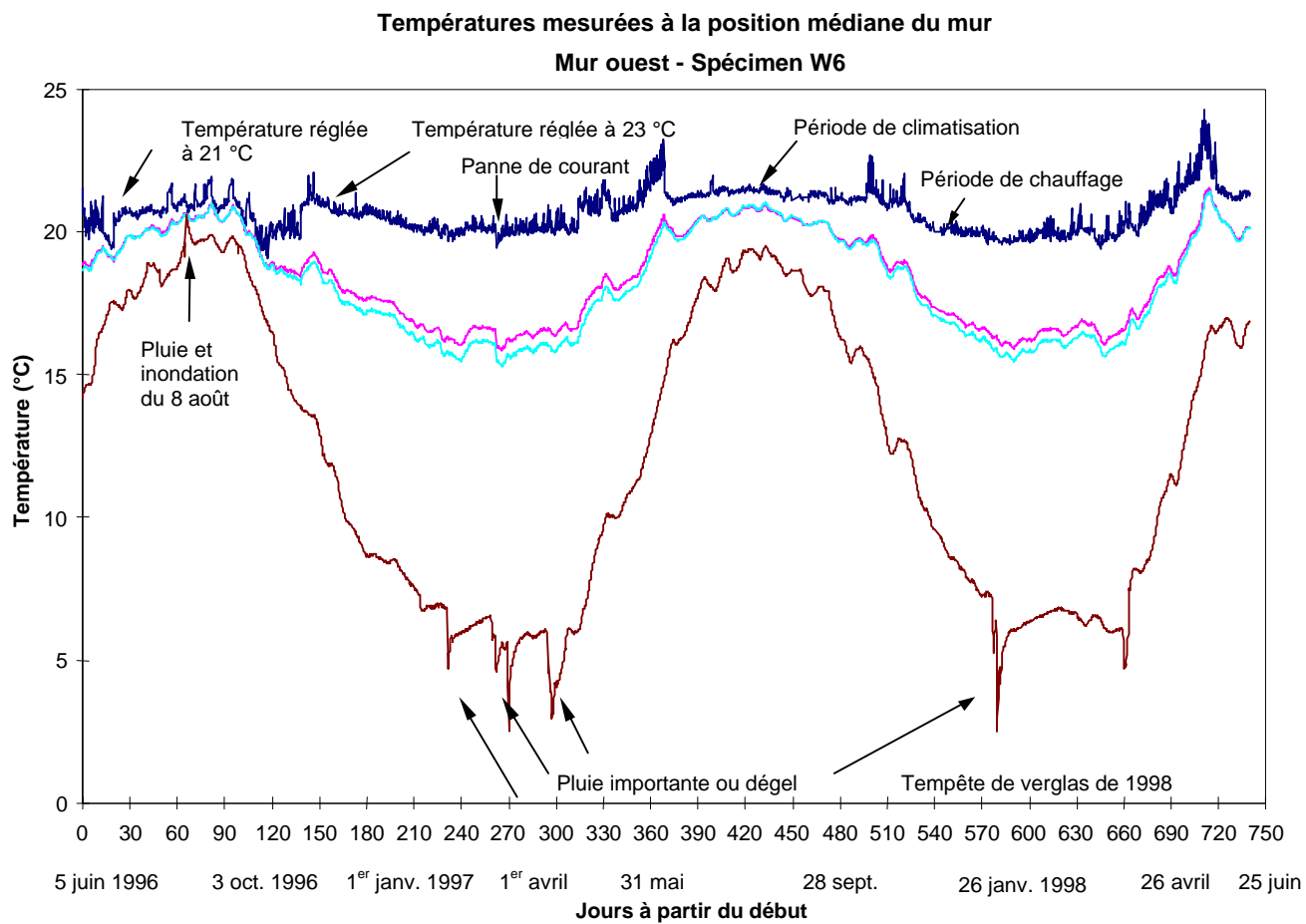


Figure 4. Profils de température à la position médiane du spécimen W6 sur le mur ouest

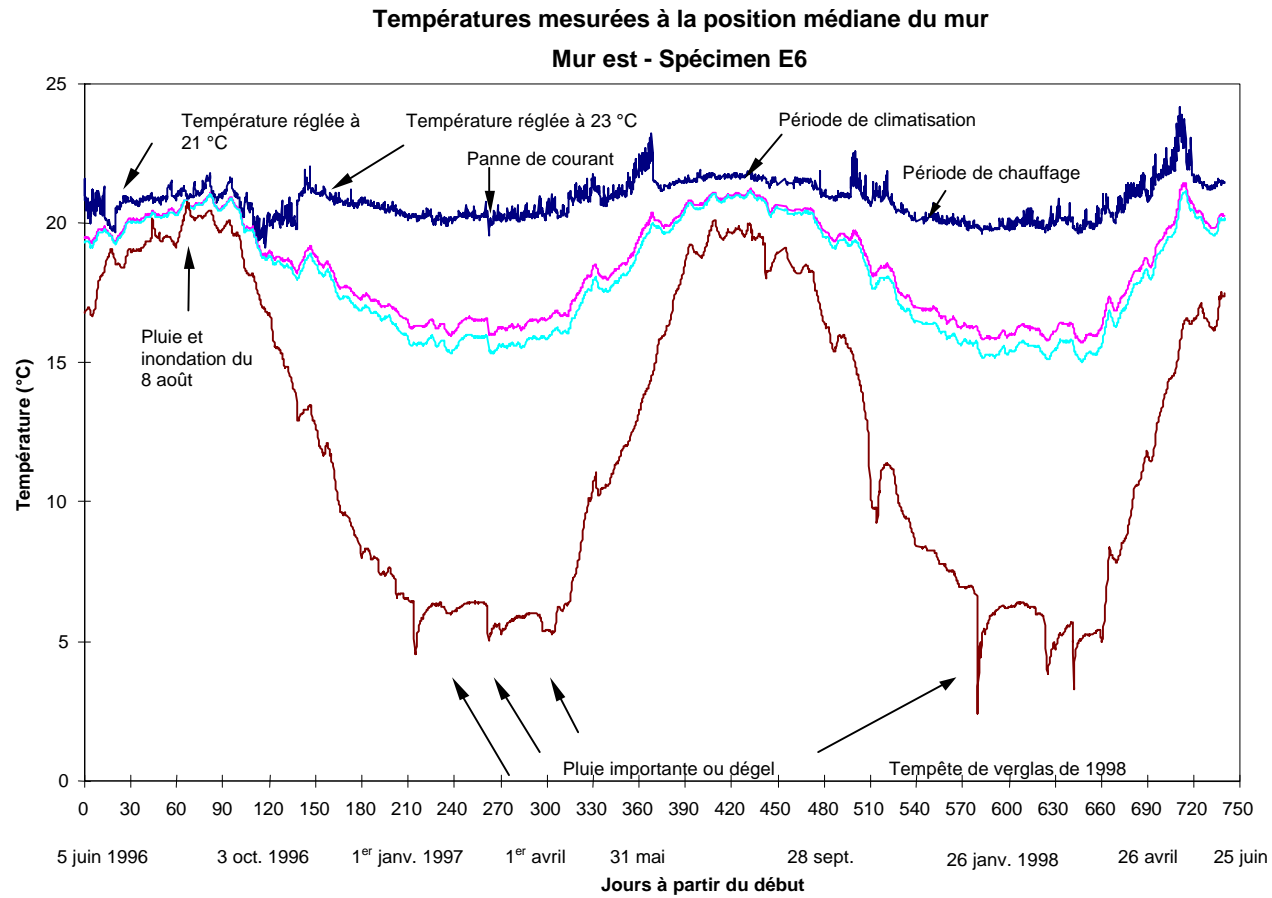


Figure 5. Profils de température à la position médiane du spécimen E6 sur le mur est

Valeurs R hebdomadaires moyennes du spécimen par rapport à sa valeur R en octobre 1996

Mur ouest - Spécimen W6

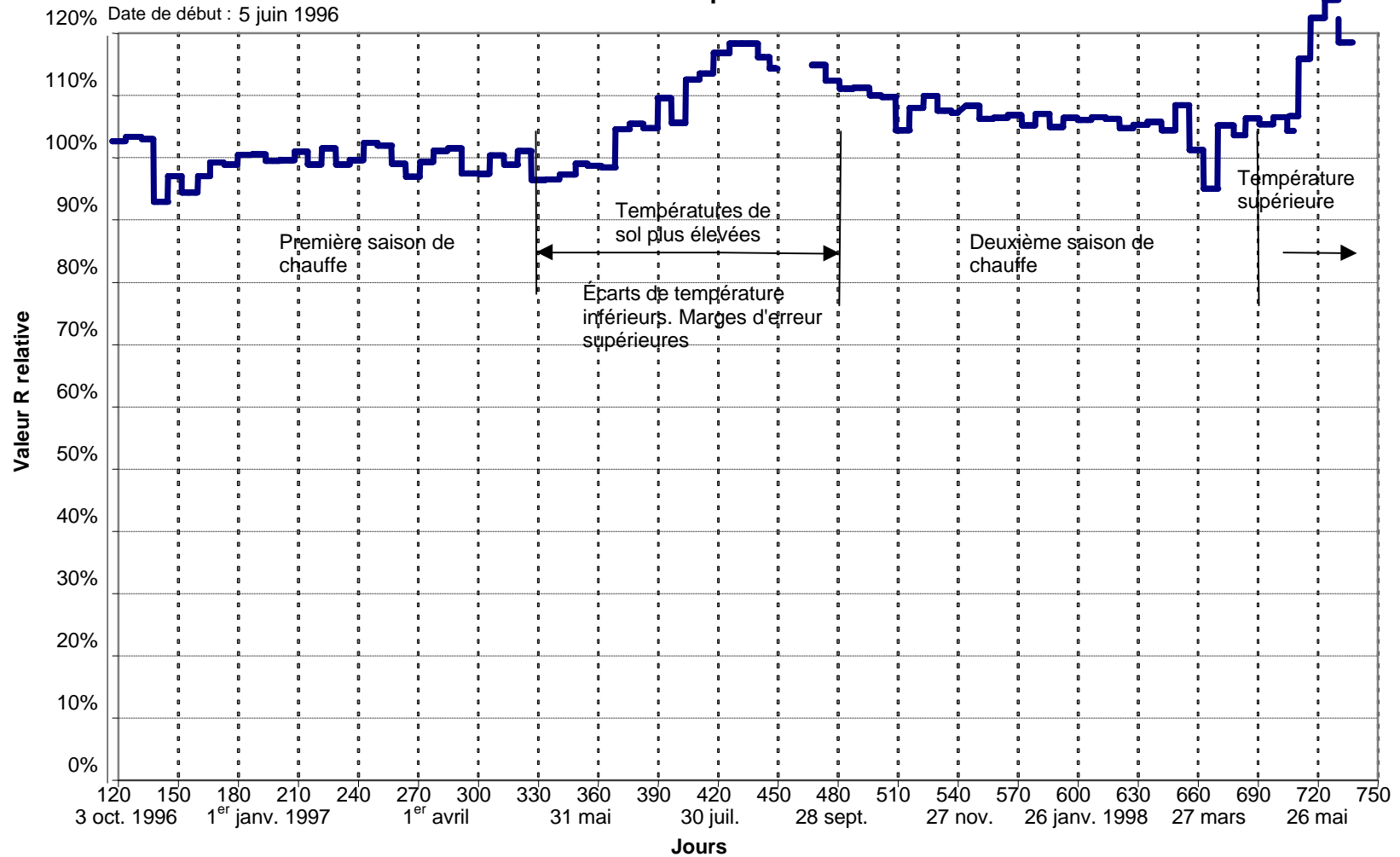


Figure 6. Tendances de la valeur R pour deux saisons de chauffe.
(Normalisée en fonction de la valeur R initiale en octobre 1996)

Valeurs R hebdomadaires moyennes du spécimen par rapport à sa valeur R en octobre 1996

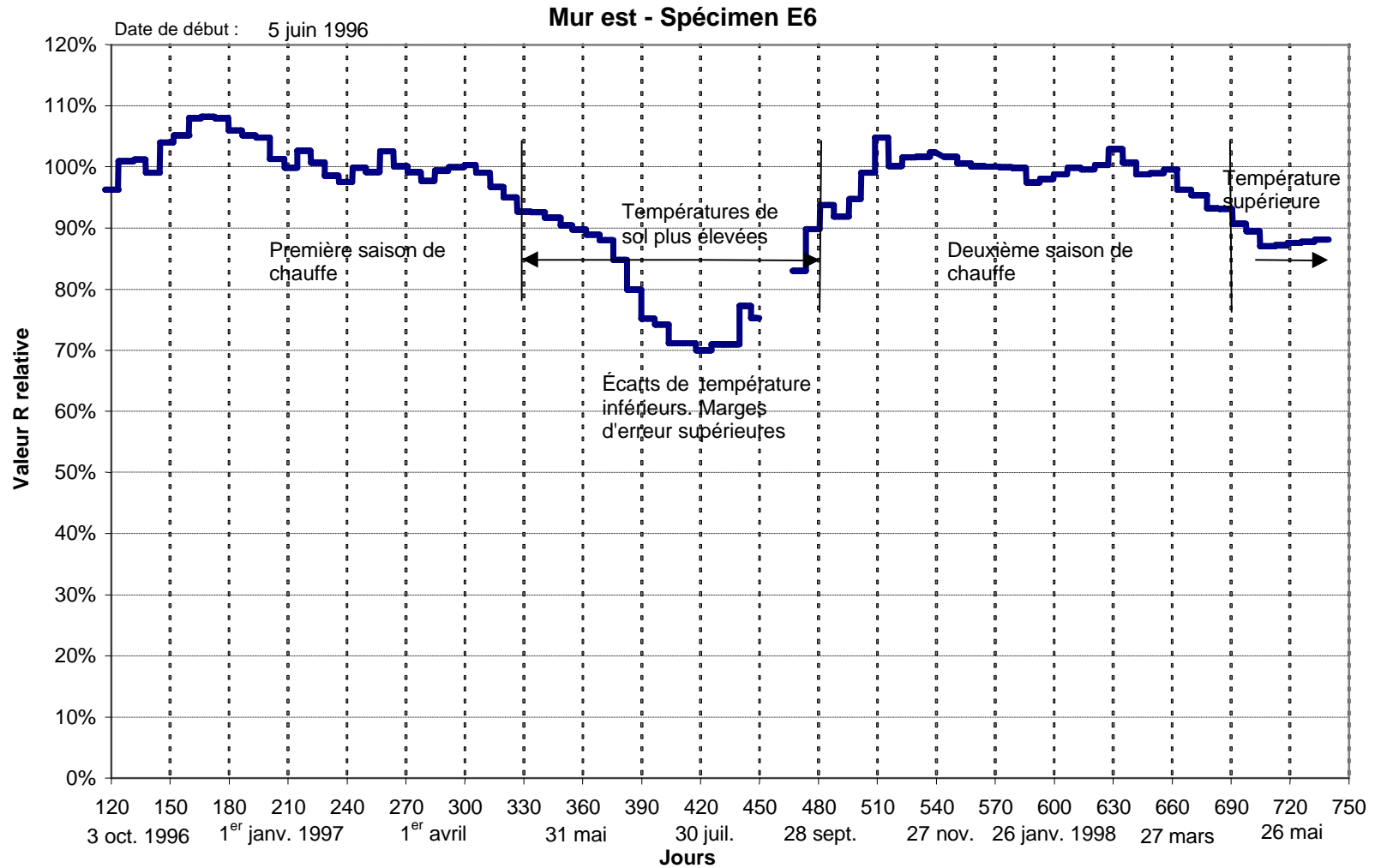


Figure 7. Tendances de la valeur R pour deux saisons de chauffe.
(Normalisée en fonction de la valeur R initiale en octobre 1996)