

# Inspection multitechnologique pour une productivité accrue dans la construction de PPVC

## Résumé

La construction volumétrique préfabriquée et préfinie (PPVC) gagne en popularité à Singapour et est même imposée sur certains sites de vente de terrains du gouvernement. La PPVC offre plusieurs avantages, notamment une productivité accrue, qui est aujourd'hui une priorité encore plus grande en raison de la pandémie. L'inspection est nécessaire pour garantir l'intégrité structurelle des structures en PPVC, mais elle est souvent considérée comme un processus chronophage sans valeur ajoutée. Cet article illustre comment l'utilisation d'une approche d'inspection multi-technologique peut garantir l'intégrité, et comment les outils d'inspection numériques peuvent ajouter de la valeur et améliorer la productivité.

## Introduction

Les méthodes de construction hors site gagnent en popularité dans de nombreux pays, dont Singapour, [Royaume-Uni](#) et [Japon](#). L'une de ces méthodes est la construction volumétrique préfabriquée et préfinie (PPVC). La PPVC implique la fabrication et la finition de modules 3D (généralement des pièces) hors site. Sur le site de construction, ils doivent être assemblés pour former un bâtiment complet, par exemple un immeuble d'appartements. Dans la conception à double paroi, l'espace entre les deux murs préfabriqués en béton est jointoyé en injectant un coulis liquide sur le site. Le déplacement d'une grande partie du travail hors du site présente plusieurs avantages, notamment une meilleure productivité, un meilleur environnement de construction, une plus grande sécurité sur le site [et un contrôle de qualité plus strict](#). Parmi les exemples de projets PPVC réalisés à Singapour, citons [NTU Hall of Residence](#) et [Clement Canopy](#).

Bien que l'une des principales raisons d'utiliser le PPVC soit l'augmentation de la productivité, cet objectif n'a pas été pleinement atteint en raison de plusieurs difficultés, dont la plupart concernent le contrôle de la qualité. Les structures en PPVC doivent faire l'objet de diverses inspections, notamment (i) le contrôle de la qualité des éléments en béton préfabriqué ; (ii) le contrôle de la qualité des éléments en béton coulé sur place ; (iii) le contrôle de la qualité de l'injection et (iv) l'inspection des défauts structurels sur les projets en PPVC existants/anciens.

Plusieurs méthodes de contrôle non destructif (CND) sont applicables au PPVC. Elles seront présentées successivement dans la section "Matériaux et méthodes" et leur pertinence pour le PPVC sera décrite. Les résultats de l'écho ultrasonique (UPE), ainsi que la représentation des données sur une plate-forme d'inspection numérique, seront présentés et discutés dans la section "Résultats et discussion". Il sera démontré que l'utilisation de différentes techniques d'inspection associées à l'utilisation de logiciels avancés peut accroître la productivité et la fiabilité du PPVC.

L'écho ultrasonique est au centre de cet article, car il s'agit de la méthode de CND la plus avancée appliquée au PPVC. L'équipe de Proceq Asia a travaillé en étroite collaboration avec les pionniers du PPVC à Singapour pour appliquer l'UPE au contrôle de la qualité de l'injection.

## Matériaux et méthodes

Le marteau à rebond est un instrument de CND courant qui permet d'estimer la résistance à la compression rapidement et sans qu'il soit nécessaire de procéder à des carottages. Le principe de fonctionnement est qu'une masse à ressort frappe la surface du béton et que son rebond est mesuré et corrélé à la résistance à la compression. La vitesse d'impulsion ultrasonique (UPV) est également utilisée pour estimer la résistance à la compression rapidement et sans carottage. Toutefois, le principe de fonctionnement est très différent. Avec l'UPV, un signal ultrasonique est envoyé dans le béton à l'aide d'un transducteur et reçu à l'aide d'un second transducteur.

L'épaisseur de béton traversée par les ultrasons doit être connue. Le temps de parcours est déterminé sur la base des temps d'émission et de réception des transducteurs. La vitesse de l'impulsion ultrasonore peut alors être calculée. Les ultrasons étant des ondes mécaniques, leur vitesse dans un matériau dépend des propriétés mécaniques de ce matériau. Il est donc possible d'estimer la résistance du béton une fois que la vitesse de l'impulsion ultrasonique est calculée. Ces deux techniques peuvent être utilisées pour mesurer la résistance à la compression des éléments préfabriqués en béton PPVC, sur le site de fabrication.

La combinaison du marteau à rebond et de l'essai UPV est appelée méthode SONREB ("rebond sonique") et donne une estimation plus précise de la résistance à la compression. Il s'agit d'une autre option pour les éléments en béton préfabriqués.

Une exigence d'inspection importante consiste à vérifier que l'injection entre les éléments en béton a été effectuée correctement. Cela se fait évidemment sur le chantier de construction lui-même. Une option consiste à utiliser l'UPV, car la vitesse des ultrasons peut donner une indication de la qualité de l'injection. Toutefois, cette méthode ne fournit pas beaucoup d'informations à l'inspecteur. Il saura seulement qu'un volume particulier de coulis présente probablement des défauts, mais il n'en connaîtra ni la taille ni l'emplacement exact.

L'analyse des données hors site est nécessaire pour obtenir une meilleure compréhension, de sorte qu'une évaluation immédiate est impossible. La couverture de l'UPV est limitée, de sorte que plusieurs mesures doivent être prises pour couvrir une grande surface de béton. L'option préférée est l'écho ultrasonique (UPE), qui permet d'obtenir une image réelle de tous les défauts, entre autres avantages décrits ci-dessous. L'évaluation est possible immédiatement sur le site, ce qui contribue à améliorer la productivité.

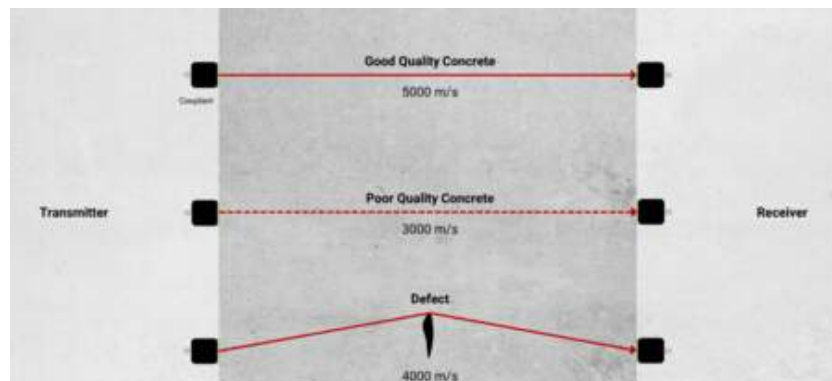


Figure 1 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) principe

Avec l'EPU, des ultrasons sont envoyés dans le béton et se reflètent sur les limites ou les défauts (figure 2). Les ultrasons réfléchis sont reçus par le même instrument, de sorte qu'il n'est nécessaire d'accéder qu'à un seul côté, contrairement à ce qui se passe avec l'UPV. Une autre différence réside dans le fait qu'avec l'EPU, on utilise généralement un "réseau" d'ultrasons, ce qui signifie qu'un seul instrument contient plusieurs transducteurs qui émettent et reçoivent tous des ultrasons. Cela génère un grand nombre de signaux qui peuvent être traités pour obtenir une image transversale en 2D ou même en 3D de la structure. Une grande surface de béton peut être imagée avec l'instrument dans une seule position, et l'instrument est déplacé le long du béton pour générer de nombreuses images qui sont automatiquement assemblées.

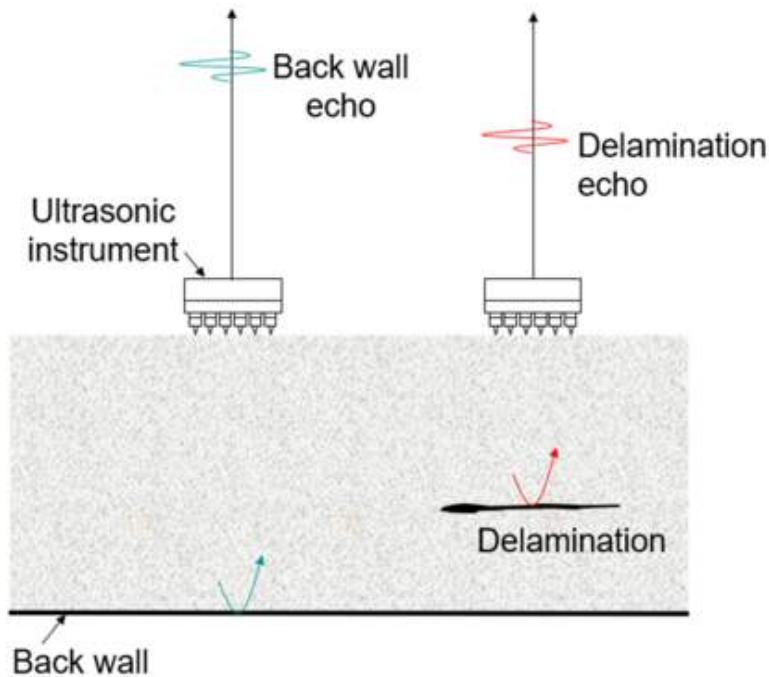


Figure 2 Ultrasonic Pulse Echo (UPE) principe.

La partie gauche de la figure 2 montre une réflexion sur l'épaisseur totale (paroi arrière). La partie droite montre une réflexion sur un défaut, par exemple un décollement.

Le principe de l'UPV et de l'UPE est illustré schématiquement dans les figures 1 et 2 respectivement. Il convient de noter que l'UPV nécessite un gel de couplage ultrasonique entre les transducteurs et la surface, ce qui n'est pas le cas de l'UPE, qui utilise des transducteurs à contact ponctuel sec (DPC). Il s'agit d'un avantage supplémentaire de l'UPE, en particulier pour le balayage de grandes surfaces.

Au fil des ans, Proceq a mis au point plusieurs instruments à réseau UPE, à savoir le Pundit 250 Array, le Pundit PD8000 et [Pundit\\_PD8050](#). Les deux derniers sont des instruments sans fil connectés à des appareils mobiles compatibles avec l'internet. Une application dédiée est utilisée sur l'iPad. Toutes les données sont sauvegardées sur un serveur web et peuvent être consultées et traitées en toute sécurité à distance. L'application permet aux utilisateurs de générer des rapports sur le terrain et d'établir des liens automatiques avec d'autres applications, par exemple pour la gestion des inspections.

Une autre exigence en matière de CND pour le béton armé est la détection des barres d'acier d'armature ("rebars"). Les deux méthodes les plus populaires sont le contrôle par courants de Foucault pulsés et le radar à pénétration de sol. Le contrôle par courants de Foucault est un contrôle rapide qui détecte la présence de barres d'armature et peut également donner une estimation de la profondeur et du diamètre de la couverture, mais ne peut pas détecter d'autres objets. Le radar à pénétration de sol (GPR) est une technique d'imagerie similaire à l'UPE, mais qui utilise des ondes radio au lieu d'ondes ultrasoniques. Ces méthodes peuvent être appliquées aux éléments préfabriqués en PPVC renforcé.

## Résultats et discussion

Dans cette section, les résultats de l'UPE seront présentés et discutés, y compris leur intégration dans une plateforme d'inspection numérique.

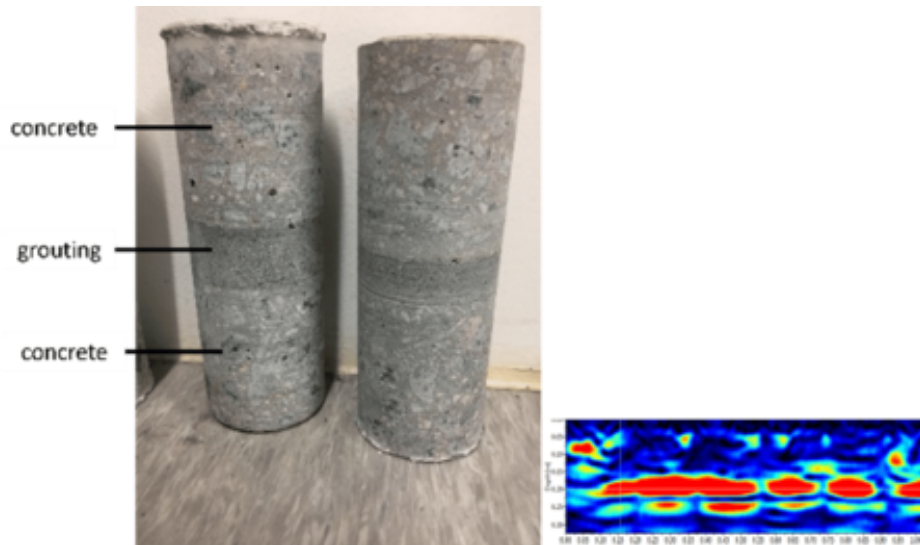


Figure 3 (a) and (b)

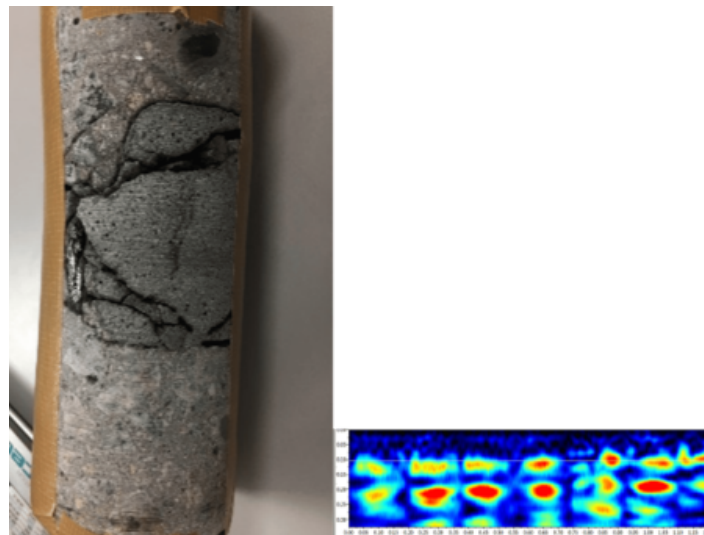


Figure 3 (c) and (d)

La figure 3 montre des carottes prélevées sur une structure en PPVC.

En (a), les carottes sont constituées de deux couches de béton avec un coulis de bonne qualité entre les deux. L'épaisseur totale est d'environ 20 cm.

En (c), une seule carotte est montrée avec un coulis défectueux entre les deux couches de béton. L'épaisseur totale de béton - coulis - béton est d'environ 20 cm, mais cette fois, il y a plusieurs défauts dans le coulis.

En (b) et (d), les résultats UPE obtenus avec le Pundit 250 Array sont montrés. En (b), il y a une forte réflexion (grande indication rouge) à environ 20 cm, ce qui correspond à ce que l'on attend d'un coulis de bonne qualité - les ultrasons le traversent directement et ne sont fortement réfléchis que par le mur opposé. En (d), on observe une forte réflexion à environ 10 cm, ce qui correspond à la profondeur de l'injection ; cela signifie que les ultrasons sont réfléchis à l'intérieur de l'injection et qu'il doit y avoir de l'air (des défauts).

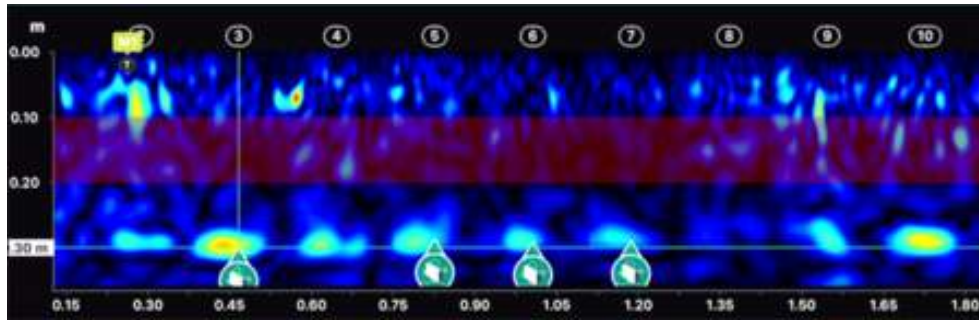


Figure 4 (a)

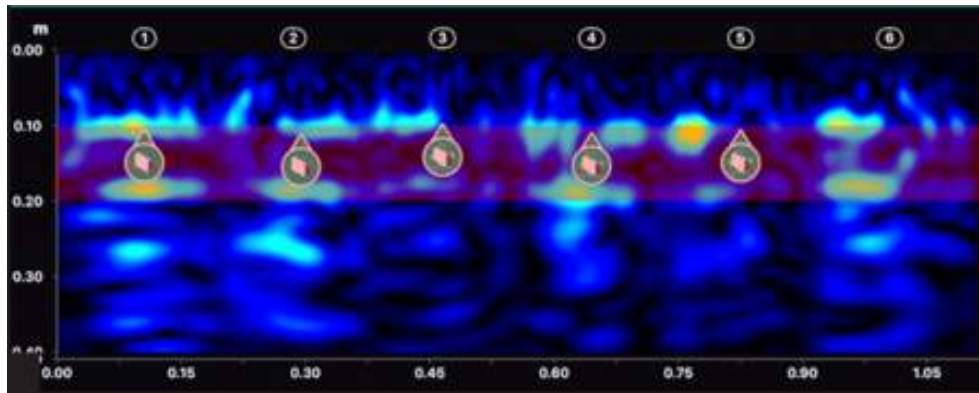


Figure 4 (b)

La figure 4 montre d'autres exemples de données UPE provenant de structures en PPVC ; cette fois-ci, l'épaisseur totale de béton-ingrédient-béton est de 30 cm et l'injection est du béton autoplaçant (BAP). En (a), l'injection est terminée et une forte réflexion est observée à 30 cm. En (b), l'injection n'a pas encore été réalisée et les réflexions sont visibles à peu près à mi-chemin, ce qui correspond à l'écart entre les deux couches de béton. Ceci représente ce à quoi un coulis de très mauvaise qualité (contenant beaucoup d'air) ressemblerait avec l'UPE.

Comme la plupart des projets de construction, le PPVC implique d'importants volumes de matériaux qui doivent être inspectés, de multiples sites de travail (à la fois des sites de fabrication et de construction), d'importants volumes de données d'inspection et de nombreuses parties prenantes. Il est donc important que les données d'inspection soient stockées sous forme numérique et sur des serveurs en nuage sécurisés afin que les parties prenantes concernées puissent y accéder, même plusieurs années plus tard. Idéalement, la collecte des données et le stockage sur le web se font de manière transparente, c'est-à-dire que les données sont collectées directement sur un appareil mobile compatible avec Internet et envoyées automatiquement sur le nuage. De cette manière, l'opérateur n'a pas besoin de consacrer du temps ou des efforts supplémentaires à la sauvegarde des données.

En outre, il est important que les données de localisation soient stockées avec les données d'inspection. Il ne s'agit pas simplement d'une position GNSS approximative ou d'une adresse postale, mais d'une localisation exacte par rapport à un plan du projet. Les ingénieurs de Proceq travaillent actuellement avec les pionniers du PPVC à Singapour pour y parvenir en utilisant leur nouveau logiciel, Screening Eagle [INSPECT](#).

INSPECT est une plate-forme logicielle complète et intelligente, dotée de nombreuses fonctions permettant d'améliorer la productivité, la qualité et la fiabilité des tâches de pré-inspection, d'inspection et d'établissement de rapports. Dans le contexte des structures en PPVC, il permet aux utilisateurs d'affecter des données CND, par exemple des données UPE, à un emplacement précis dans une unité d'habitation. Un exemple est présenté à la figure 5. Il est également possible d'inclure des données provenant d'autres méthodes et sites d'inspection, par exemple des essais de rebond sur le site de fabrication.

## Conclusions et recommandations

L'utilisation du PPVC a le potentiel d'améliorer considérablement la productivité de la construction, mais pose plusieurs défis en matière d'inspection. Grâce à une bonne planification et à la sélection des bons outils d'inspection, il est possible d'inspecter rigoureusement une structure sans y consacrer beaucoup de temps ou d'énergie. Comme l'a montré cet article, une approche multi-technologique est nécessaire, avec différentes technologies d'inspection employées pour différentes exigences d'inspection.

Il est également recommandé d'utiliser des appareils mobiles compatibles avec l'internet pour collecter les données et les envoyer automatiquement vers un système de stockage sécurisé dans le nuage. Cela permettra d'accroître la productivité et la fiabilité des structures en PPVC. En outre, dans l'idéal, les données d'inspection sont stockées avec leur emplacement, c'est-à-dire qu'elles indiquent exactement la partie de l'unité de logement où les données ultrasoniques ont été prises. L'avantage d'une telle mesure se fera surtout sentir dans plusieurs années, lorsque les données d'inspection des structures en PPVC devront être réexaminées, par exemple à la suite d'une défaillance d'une structure similaire, ou lorsqu'il faudra procéder à un réaménagement ou à une remise à neuf.



[Terms Of Use](#)  
[Website Data Privacy Policy](#)

**Copyright © 2024 Screening Eagle Technologies. All rights reserved.** The trademarks and logos displayed herein are registered and unregistered trademarks of Screening Eagle Technologies S.A. and/or its affiliates, in Switzerland and certain other countries.