



HighRAP

Revêtements bitumineux à haute teneur en RAP

RÉSUMÉ DU PROJET

Rapport complet

Téléchargez le rapport complet, la présentation et les
outils développés :

<https://www.empa.ch/web/s308/highrap>



Empa
Martins Zaumanis, Dr. Sc. Ing.
Lily D. Poulidakos, Dr. Sc. ETH

Ammann Schweiz AG
Lukas Boesiger

BHZ AG
Bernhard Kunz

Catram AG
Henry Mazzoni
Peter Bruhin

Reproad AG
Dominique Lötscher

Kanton Zürich
Urs Schellenberg

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Martins Zaumanis, Empa, Concrete and Asphalt Laboratory

Mitglieder

Lily Poulidakos, Empa, Concrete and Asphalt Laboratory

Lukas Boesiger, Ammann Schweiz AG

Bernhard Kunz, BHZ AG

Henry Mazzoni, Catram AG

Peter Bruhin, Catram AG

Dominique Lötscher, Reproad AG

Urs Schellenberg, Kanton Zürich

Begleitkommission

Präsident

Fabian Traber, Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Mitglieder

David Hiltbrunner, Bundesamt Für Umwelt (BAFU)

Remo Fehr, Amt für Natur und Umwelt - Kanton Graubünden

Dominik Oetiker, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft – Kanton Zürich

Christoph Gassmann, Baudirektion Kanton ZH Tiefbauamt

Nicolas Bueche, Bern University of Applied Sciences (BFH)

KO-Finanzierung des Forschungsprojekts

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft – Kanton Zürich

Amt für Natur und Umwelt - Kanton Graubünden

BHZ AG

Catram AG

Ammann Schweiz AG

Reproad AG

Antragsteller

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Résumé

La Suisse n'exploite pas pleinement le potentiel de réutilisation de l'asphalte pour la production de nouveaux mélanges bitumineux. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) estime qu'en Suisse, environ 2,5 millions de tonnes d'asphalte sont fraisées chaque année, ce qui signifie qu'environ 750 000 tonnes (30 % des 2,5 millions de tonnes) ne sont pas réutilisées.

Une raison importante de la quantité considérable des restes d'agrégats d'enrobés (RAP) est que très peu de nouvelles routes sont construites en Suisse. Cela signifie que l'asphalte fraisé doit être réutilisé dans la production d'asphalte à une teneur élevée afin d'éviter l'accumulation de stocks. Le projet de recherche VSS 2005/454 EP3 (1) estime que pour éviter l'accumulation de matériaux recyclés, les couches de roulement doivent contenir en moyenne 50% de matériaux recyclés et les couches de base 70%.

Les restrictions visant à limiter la teneur maximale en RAP sont fondées. La prudence est principalement motivée par le fait que le liant RAP est âgé et est trop rigide. Par conséquent, les mélanges à forte teneur en matériau RAP peuvent être sujets à la fissuration (2–4) et une partie du liant RAP ne se mélange probablement pas avec les matériaux vierges introduits, ce qui entraîne un effet de "roche noire" (5–7). Malheureusement, les approches traditionnelles de conception des mélanges et de contrôle de la qualité ne sont pas toujours adaptées à l'évaluation de ces effets. Les différents matériaux qui sont ajoutés, notamment les liants de différentes viscosités, les réjuvenateurs et le RAP, créent des impacts complexes qui ne peuvent pas toujours être caractérisés avec les paramètres traditionnels.

Un autre problème est l'homogénéité souvent insuffisante du RAP qui ne permet pas d'avoir confiance dans la continuité de la conception du mélange développé (8–10). Enfin, le processus de production est un obstacle puisque le chauffage du RAP nécessite une centrale d'enrobage technologiquement avancée et le processus génère des émissions.

Aperçu du projet HighRAP

L'objectif du projet HighRAP est d'élaborer des recommandations qui permettraient d'augmenter la teneur moyenne en asphalte récupéré sans compromettre les performances de la chaussée.

L'aperçu du projet est résumé à la Fig. 11. Les trois principaux sujets liés aux matériaux (matériau RAP, conception du mélange et performance du mélange) qui ont le potentiel de faire progresser l'utilisation du RAP ont été inclus dans le projet.

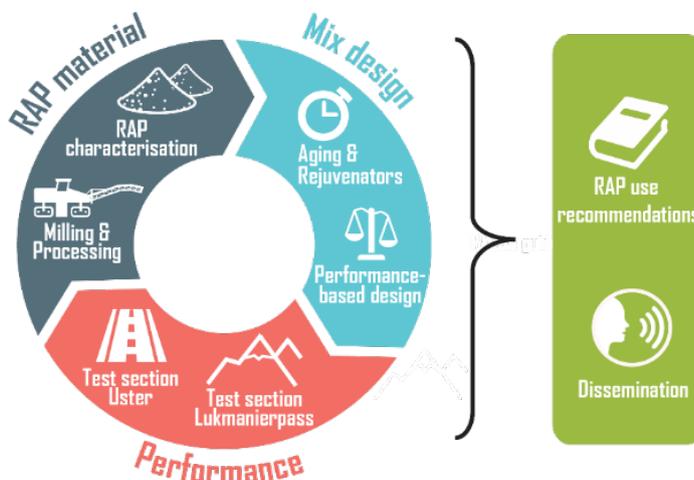


Fig. 1 Aperçu du projet HighRAP

Les tâches du projet HighRAP pour chacune des trois directions de recherche sont brièvement résumées dans le tableau ci-dessous Tab. 2.

Tab. 1 Résumé des activités du projet HighRAP

Étude	Tâches	Activités pendant le projet HighRAP
 Fraisage et traitement du RAP	Développer des procédures de traitement des RAP qui permettent de maximiser l'utilisation des RAP dans la production.	<ul style="list-style-type: none"> • Une expérience en grandeur nature pour évaluer l'effet du fraisage, • Une expérience en grandeur réelle pour développer une méthode d'évaluation quantitative de la procédure de fraisage et de criblage du RAP.
 Caractérisation du RAP	Développer des méthodes d'essai simplifiées pour une caractérisation rapide du RAP sans extraction du liant.	<ul style="list-style-type: none"> • Une expérience en grandeur nature pour évaluer la pertinence de deux méthodes pour la caractérisation du RAP sans extraction du liant.
 Vieillissement et réjuvenateur	Élaboration d'un protocole de vieillissement pour la conception des mélanges afin d'évaluer la durabilité des matériaux d'enrobage rajeunis.	<ul style="list-style-type: none"> • Vieillissement des enrobés en laboratoire pour les comparer aux enrobés produits en usine et aux carottes de route. • Développement d'une procédure pour l'évaluation de la résistance au vieillissement des régénérateurs.
 Conception des mélanges basée sur les performances	Élaboration d'une procédure qui permettrait de concevoir des mélanges à haute teneur en RAP ayant des performances et un cycle de vie similaires à ceux de l'asphalte conventionnel.	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser une conception de mélange basée sur la performance pour les mélanges construits dans les sections d'essai. • Développer des critères d'acceptation pour les essais de flexion semi-circulaire et de compression cyclique.
 Section d'essai à Uster	Évaluer la production et la pose en grandeur réelle de mélanges à fort taux de RAP pour les routes à fort trafic.	<ul style="list-style-type: none"> • Construction d'une section d'essai à Uster pour valider la performance des mélanges modifiés par des polymères avec une teneur élevée en RAP.
 Section d'essai dans le Lukmanierpass	Évaluer la production et la pose en grandeur réelle de mélanges à fort taux de RAP pour les routes de haute altitude.	<ul style="list-style-type: none"> • Construction d'une section d'essai dans le Lukmanierpass pour valider les performances des mélanges de fondations et de couches de base à haute teneur en RAP.

Les conclusions de chaque étude et les recommandations qui découlent du projet HighRAP sont décrites ci-dessous.

Matériau RAP

Dans chacune des deux sections d'essai qui ont été revêtues au cours du projet, l'un des mélanges HighRAP a été produit en utilisant du RAP dont la teneur en liant ou les propriétés du liant étaient différentes de celles des autres mélanges HighRAP. Dans les deux cas, cela a conduit à des propriétés de mélange inattendues et souligne l'importance d'assurer une grande homogénéité du RAP, en particulier lorsqu'une teneur en RAP très élevée est utilisée.

L'inhomogénéité du matériau RAP est due à la variabilité de la chaussée fraisée, au mélange de matériaux RAP de différentes sources, aux différents états de vieillissement

de la chaussée, aux différents états d'endommagement, au fraisage de plusieurs couches, etc.

Un autre problème lié au matériau RAP est sa teneur en filler souvent élevée. Cela est dû en partie aux opérations de fraisage et de fraisage ultérieures, qui génèrent de la charge (poussière) en raison de l'impact mécanique. Une teneur en charge élevée limite souvent la teneur maximale en matériau RAP dans le mélange, car elle ne permet pas de répondre aux exigences de granulométrie des enrobés bitumineux. Un taux de remplissage élevé réduit également la teneur en vides du mélange à des niveaux inacceptables.

Pour ces raisons, le développement de méthodes de production et d'essai du RAP fait partie du projet de recherche HighRAP.



Traitement

Trois indices permettant d'évaluer le concassage et le criblage du RAP ont été développés:

- L'indice de fragmentation démontre la taille des agglomérations de RAP.
- L'indice de décomposition démontre la réduction de la taille des particules d'agrégats de RAP pendant le traitement.
- L'indice d'augmentation des charges reflète la quantité de charges générées pendant le traitement du matériau RAP.

Les indices peuvent être déterminés en utilisant l'analyse de la gradation du RAP avant et après l'extraction du liant. Le concept des indices et un exemple d'expression de résultat sont illustrés à la Fig. 12. Un tableau Excel permettant de calculer les trois indices peut être téléchargé ici (11): <https://doi.org/10.5281/zenodo.5500154>.

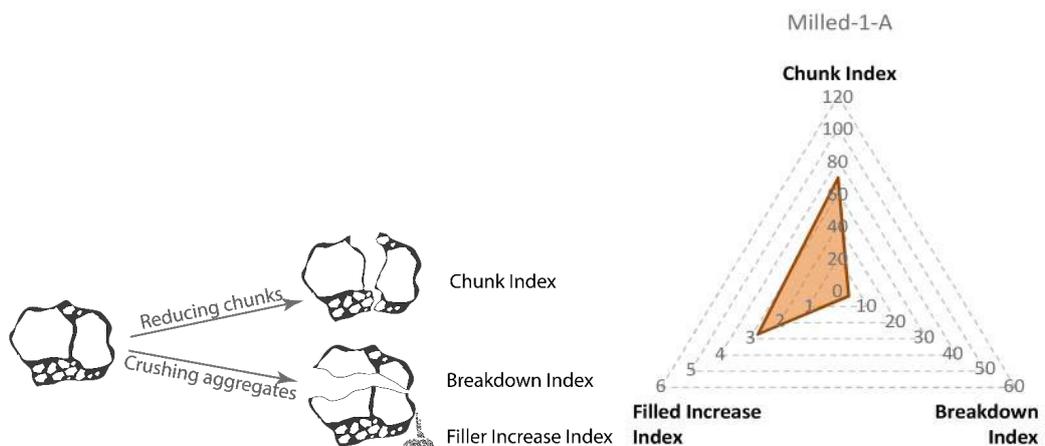


Fig. 2 Principe de l'indice de fragmentation, de l'indice de rupture et de l'indice d'augmentation des charges (à gauche) et résultat pour un matériau traité (à droite).

Afin de valider les indices, une étude de cas a été réalisée en utilisant quatre concasseurs différents : GIPO, Ammann, Benninghoven et SBM. Ces machines ont broyé cinq sources différentes de matériau RAP pour produire un total de sept matériaux différents.

Les résultats ont montré que les trois indices constituent un moyen quantitatif utile pour caractériser le matériau RAP. En tant que tels, ils permettent d'optimiser le processus de concassage et de criblage, de comparer différents concasseurs de RAP et de sélectionner des techniques de gestion des RAP afin de maximiser leur recyclage.



Fraisage

L'expérience de fraisage a été réalisée en faisant varier les paramètres de fraisage sur quatre chantiers en grandeur nature. Les résultats présentés à la Fig. 13 montrent que les propriétés du matériau RAP broyé peuvent être affectées par les paramètres de fraisage, notamment la vitesse de déplacement de la fraiseuse. Il est possible d'optimiser le processus de fraisage pour minimiser la dégradation des agrégats et la production de charges, mais de la recherche supplémentaire est nécessaire avant de pouvoir recommander des changements dans les pratiques de fraisage. L'indice de fragmentation, l'indice de décomposition et l'indice d'augmentation des charges se sont avérés bien adaptés à l'évaluation du processus de fraisage. Un tableau Excel permettant de calculer les trois indices peut être téléchargé ici: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4450091> (12).

Il a été constaté que le processus de fraisage, malgré des dents de fraisage atteignant jusqu'à 1000 °C, n'a pas vieilli le liant RAP et que l'angularité des agrégats n'a pas changé pendant le fraisage à l'endroit testé, quels que soient les paramètres de fraisage utilisés.

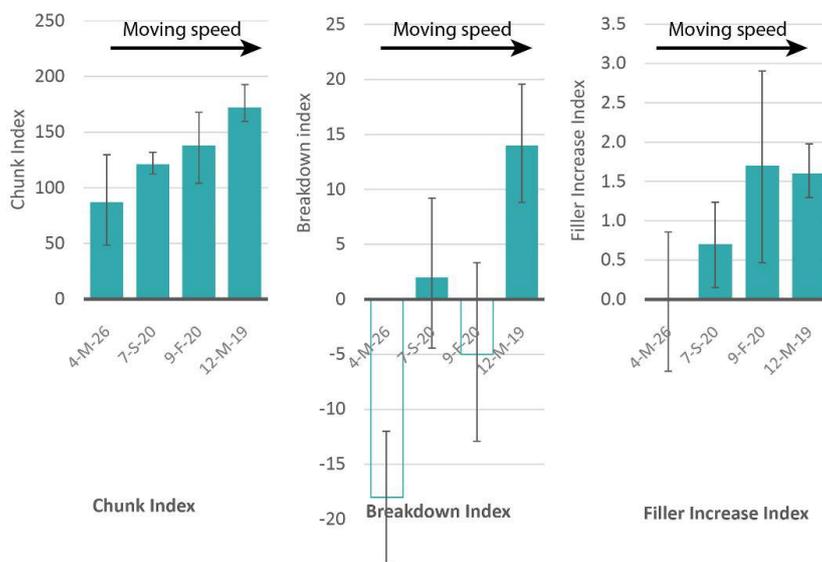


Fig. 3 La vitesse de déplacement de la fraiseuse a une incidence sur l'indice de fragmentation, l'indice de rupture et l'indice d'augmentation du remplissage.



Caractérisation du RAP

Un facteur pratique important qui empêche de garantir l'homogénéité des stocks de matériau RAP est l'effort et le temps nécessaires pour tester les propriétés du matériau RAP. L'extraction des granulats et la récupération du liant du matériau RAP prennent du temps et nécessitent l'utilisation de solvants dangereux pour la santé. La séparation du matériau RAP en matériaux constitutifs n'est peut-être même pas la meilleure approche pour les essais puisque le matériau utilisé dans la production est le matériau RAP plutôt que les matériaux constitutifs du matériau RAP. Pour cette raison, de nouvelles méthodes d'essai doivent être développées pour une caractérisation rapide des RAP.

Pour tenter de développer des méthodes de caractérisation pratiques et rapides pour les essais sur le RAP, les essais de cohésion et de fragmentation ont été étudiés (voir la Fig. 14). Pour ces deux tests, les procédures ont été simplifiées et les paramètres ayant un impact sur les résultats ont été étudiés.

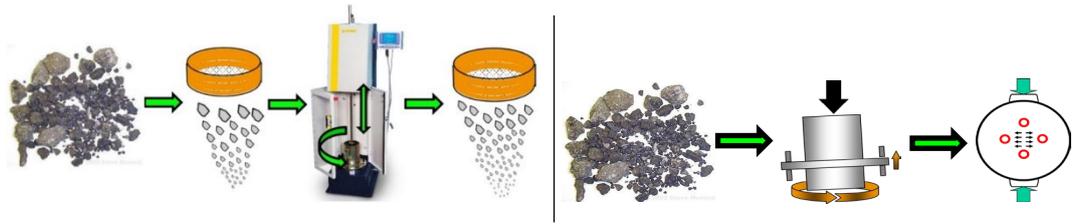


Fig. 4 Test de fragmentation (à gauche) et test de cohésion (à droite)

L'essai de fragmentation était destiné à caractériser l'agglomération du matériau RAP et la ténacité des agrégats du matériau RAP. Les résultats de l'essai sont très reproductibles et montrent qu'il est possible de caractériser le matériau d'apport en fonction de la méthode de traitement utilisée pour le préparer. Cependant, la relation entre le résultat du test de fragmentation et la ténacité de l'agrégat de RAP et les agglomérations de RAP n'a pas pu être clairement évaluée. Les interactions sont complexes et dépendent également de l'effet d'amortissement du mortier RAP et probablement d'autres paramètres, notamment la viscosité du liant RAP.

L'essai de cohésion visait à caractériser la teneur en liant du RAP et les propriétés du liant. Les résultats de l'essai se sont révélés sensibles au point de ramollissement du liant et au vieillissement du liant, mais pas à la teneur en liant.

Ni l'essai de cohésion ni l'essai de fragmentation ne sont prêts à être mis en pratique pour le moment. D'autres projets de recherches sont nécessaires pour déterminer si les essais de fragmentation et de cohésion peuvent être utiles pour une caractérisation rapide du RAP ou si d'autres méthodes doivent être développées.

Recommandations concernant le matériau RAP

- Continuer à tester les propriétés du matériau RAP à l'aide des tests traditionnels : teneur en liant, propriétés du liant et granulométrie des granulats. N'autoriser l'utilisation d'une teneur élevée en RAP dans la production d'enrobés que si l'homogénéité du RAP est garantie. Le contrôle de l'homogénéité de la teneur en liant et des propriétés du liant est particulièrement important puisque la granulométrie peut être plus facilement contrôlée par le concassage et le tamisage.
- Déterminer les limites de la variabilité acceptable de la teneur en liant du RAP et de la pénétration du liant, en fonction de la teneur nominale en RAP. Un exemple de méthode de calcul de la variabilité autorisée du RAP est présenté dans le rapport. Un tableau Excel permettant de calculer les trois indices peut être téléchargé ici: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7441805> (13).
- Suivre les meilleures pratiques de gestion du RAP et tester rigoureusement la teneur en liant du RAP et les propriétés du liant pour garantir une grande homogénéité du RAP. Les procédures spécifiques mises en place pour la gestion des RAP (fraisage, tamisage, concassage, séparation à la source) dépendent des circonstances locales.
- Utiliser les indices d'augmentation du nombre de morceaux, de ruptures et de charges développés pour optimiser les opérations de traitement du matériau RAP. Cela peut permettre au matériau RAP produit d'atteindre un recyclage maximal.
- Envisager la séparation des RAP en fonction de la source de fraisage.

Conception des mélanges à haute teneur en RAP

Les procédures traditionnelles de conception des mélanges prennent en compte les proportions volumétriques (bitume, contenu, granulométrie, porosité, etc.) et incluent parfois les caractéristiques de résistance des mélanges (essai Marshall, essai d'orniérage). Les méthodes traditionnelles de conception des mélanges ont été développées pour caractériser les mélanges composés de matériaux vierges et ne permettent pas de saisir les défis liés à la conception de mélanges à haute teneur en RAP:

- L'utilisation d'une teneur élevée en RAP augmente le potentiel de fissuration en raison de la présence d'un liant âgé. La mise en œuvre de procédures de conception des mélanges et de contrôle de la qualité est nécessaire pour permettre la caractérisation courante de la résistance à la fissuration des mélanges à haute teneur en RAP.
- La rigidité du liant RAP doit être réduite par l'utilisation de réjuvenateurs ou de liants mous. Une méthode permettant de déterminer leur dosage optimal est nécessaire et la durabilité de l'asphalte produit doit être assurée.
- La diffusion des agents de recyclage et l'activation incomplète du liant RAP ne sont pas prises en compte dans la conception de l'asphalte.

L'utilisation de méthodes d'essai basées sur les performances peut permettre de capturer les effets mentionnés ci-dessus et donc, avec un degré de confiance plus élevé, de permettre l'application de mélanges à haute teneur en RAP. Un élément clé du projet HighRAP est donc l'évaluation du potentiel d'utilisation de tests de mélange basés sur les performances pour la conception de mélanges à haute teneur en RAP.

Choix du vieillissement et du réjuvenateur

Idéalement, les méthodes d'essai basées sur les performances devraient permettre de déterminer les propriétés du mélange final sans avoir besoin d'extraire le liant RAP. Cependant, à l'heure actuelle, les méthodes d'essai disponibles ne permettent pas de le faire avec une confiance totale. C'est pourquoi il est important de tester également la performance du liant.

Le dosage du rajeunisseur pour les sections d'essai a été sélectionné en testant des échantillons à trois teneurs en rajeunisseur et en interpolant le dosage qui fournit le grade de liant souhaité, comme le montre la Fig. 15. Cette approche s'est avérée fructueuse puisque les propriétés du liant des mélanges produits répondaient pour la plupart aux exigences de la catégorie cible, y compris les valeurs du point de ramollissement. Une approche similaire peut être utilisée si un grade de liant mou est utilisé.

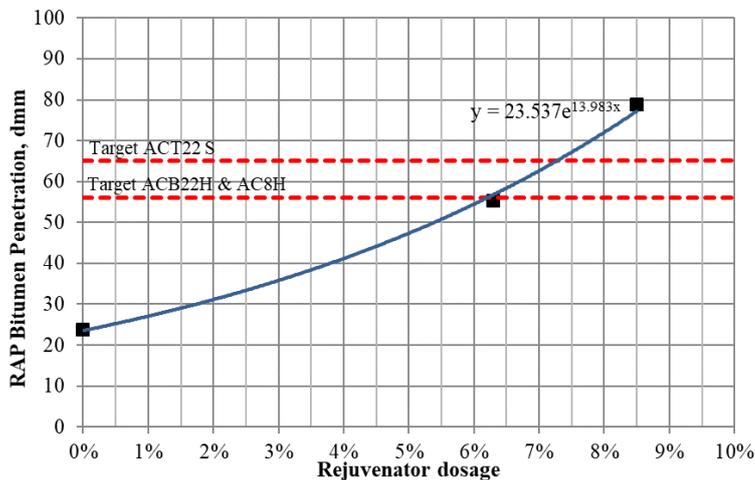


Fig. 5 Détermination du dosage du rajeunisseur pour les trois mélanges utilisés dans la section d'essai d'Uster

La résistance au vieillissement du liant rajeuni avec un additif à base de tall oil brut a été testée. Les résultats ont montré que le rajeunisseur utilisé dans cette recherche ne devrait pas présenter un vieillissement accéléré par rapport aux liants sans rajeunisseur. Cependant, différents réjuvenateurs et grades de liants mous peuvent avoir une résistance au vieillissement différente. Pour cette raison, il est important de déterminer la résistance au vieillissement pour la combinaison des matériaux particuliers utilisés dans la production d'asphalte.

Recommandations concernant le vieillissement et le choix du rajeunisseur :

- S'assurer de la conformité aux exigences de l'essai de liant conventionnel également pour les mélanges à forte teneur en RAP.
- Avant de permettre l'utilisation d'un nouveau grade de rajeunisseur ou de liant souple, déterminez la résistance au vieillissement d'un mélange de liants contenant tous les liants utilisés dans la conception du mélange. La méthode de vieillissement recommandée comprend un cycle RTFO suivi de deux cycles RAP. Cette méthode s'est avérée fournir des propriétés de liant similaires à celles du liant RAP et peut donc être considérée comme une simulation réaliste du vieillissement sur le terrain.
- Au minimum, il est recommandé de tester la pénétration avant et après le vieillissement ainsi que la perte de masse pendant le RTFOT. D'autres méthodes d'essai peuvent être ajoutées en fonction des circonstances locales.
- Choisir le dosage du rajeunisseur en fonction des résultats des essais de pénétration pour assurer la conformité au grade de liant cible. Un tableau Excel permettant de calculer les trois indices peut être téléchargé ici: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7441761> (14).
- Évaluer l'utilisation de l'essai MSCRT comme méthode d'essai de routine pour les liants, en particulier pour les liants contenant du PmB. Cet essai peut être réalisé plus rapidement que les essais conventionnels et il a permis d'évaluer l'élasticité et la résistance à l'orniérage.



Conception des mélanges basée sur les performances

Les mélanges pour les sections d'essai ont été conçus en utilisant la méthode de conception des mélanges basée sur la performance. L'utilisation de cette procédure a permis de concevoir des mélanges à haute teneur en RAP. Les étapes suivantes ont été mises en œuvre :

1. Optimiser la teneur en rajeunissant des mélanges en fonction des résultats de pénétration visés.
2. Utiliser un essai de fissuration et un essai de déformation plastique pour équilibrer la teneur en liant de conception et les autres paramètres de conception.
3. Effectuer des essais supplémentaires sur les liants et les mélanges avant d'approuver les conceptions finales.

Le choix des méthodes d'essai pour les étapes 2 et 3 dépend des circonstances locales. À titre d'exemple, dans la section d'essai d'Uster, l'optimisation du liant a été réalisée à l'aide d'essais de flexion semi-circulaire (SCB) et de compression cyclique. La visualisation de la conception équilibrée pour décider entre deux grades de liant pour un mélange est illustrée à la Fig. 16.

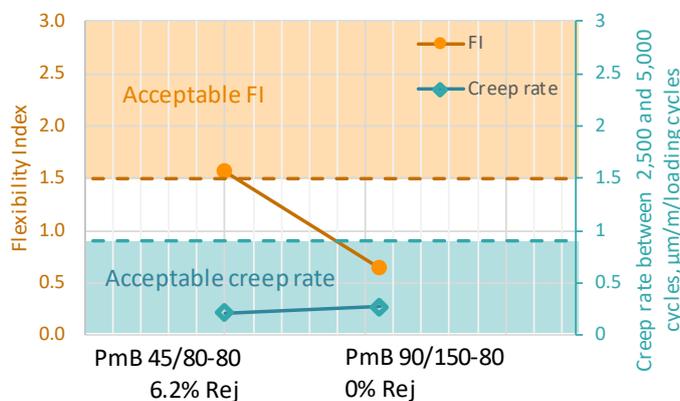


Fig. 6 Optimisation du type de bitume et de la teneur en rajeunisseur pour le mélange AC B 22 H

L'indice de flexibilité SCB s'est révélé être une méthode utile pour la conception des mélanges et le contrôle de la qualité. Au cours de la recherche, le test s'est avéré sensible à la teneur en liant et aux propriétés du liant (y compris le vieillissement du liant) et peut donc être utilisé dans la conception d'un mélange équilibré. Dans un cas, cependant, le résultat du test n'a pas montré qu'un mélange contenait un liant dur. C'est pourquoi, pour éviter les résultats faussement positifs, il est important de tester également les propriétés du liant extrait.

Les exigences d'acceptation pour l'indice de flexibilité du SCB ont été établies pour la conception des mélanges HighRAP. Pour les couches de base, de liaison et de fondation, l'exigence minimale de l'indice de flexibilité SCB (FI) a été fixée à 1,5, tandis que pour le mélange AC 8, elle était de 4,5.

Nous sommes utilisé l'essai de compression cyclique pour testé l'orniérage les enrobés des sections d'Uster et du Lukmanierpass. This test was preferred to the French rutting test because of its simpler test method. Dans certains cas, l'expression des résultats de l'essai s'est avérée difficile car il fallait utiliser une métrique différente selon le type de défaillance. Dans certains cas, l'essai a également présenté une importante variabilité.

Le taux de fluage maximal autorisé entre 2 500 et 5 000 cycles a été établi pour la conception des mélanges HighRAP comme suit: 0,3 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{cycle}$ de chargement pour AC 8 H, 0,5 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{cycle}$ de chargement pour AC B 22 H, et 0,9 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{cycle}$ de chargement pour les mélanges AC 22 S et AC F 22. Ces valeurs ont été établies sur la base d'un petit ensemble d'échantillons et ne devraient pas être appliquées à d'autres conceptions sans vérification.

Le test de Marshall a été utilisé pour la procédure de conception de mélange équilibré pour les mélanges Lukmanierpass. Le test s'est avéré utile, mais dans certains cas, il a donné des résultats des résultats inattendus compte tenu des modifications apportées à la conception.

Sur la base d'une expérience de vieillissement, il a été décidé de ne pas vieillir les mélanges pendant la phase de conception des mélanges, car les résultats des échantillons non vieillis étaient raisonnablement proches des résultats des enrobés produits en usine et des carottes de prélevées sur la chaussée. Le vieillissement aurait également limité la capacité à distinguer les différentes conceptions de mélange.

Les essais SCB, de rigidité et de fatigue n'ont pas permis de distinguer les mélanges contenant du PmB de ceux qui n'en contenaient pas. L'utilisation de l'essai MSCRT sur le liant récupéré est recommandée à cette fin.

Recommandations concernant la conception de mélanges basés sur les performances :

- Ajouter des méthodes d'essai basées sur les performances aux exigences de conception des mélanges. Les essais de résistance à la fissuration sont particulièrement importants pour les mélanges contenant une forte teneur en RAP.
- Il n'est pas recommandé de faire vieillir les mélanges avant de les tester avec les méthodes utilisées dans cette recherche. La résistance au vieillissement doit plutôt être déterminée pour les mélanges de liants, comme expliqué précédemment.
- Il est recommandé d'utiliser la méthode de conception des mélanges basée sur la performance pour optimiser la performance du mélange. Cependant, à l'heure actuelle, il n'est pas recommandé d'utiliser les essais pour remplacer les exigences conventionnelles pour tester les propriétés du liant récupéré et la teneur en liant du mélange.
- Pour éviter le vieillissement, le délai entre la production du mélange et le compactage des échantillons et les essais doit être aussi court que possible. De longs délais provoquent le vieillissement des échantillons et compromettent les résultats. Les

carottes permettent une durée de stockage plus longue que les mélanges en vrac car leur teneur en vide d'air est plus faible en comparaison.

Performance des mélanges à forte teneur en agrégats d'enrobés (RAP)

Le processus de production des mélanges à haute teneur en RAP est plus complexe en raison de la nécessité de mélanger davantage de matériaux, de chauffer le RAP, de gérer les émissions, tout en assurant la quantité et la qualité de production nécessaires. La construction de démonstrateurs à forte teneur en matériau CAR permet d'évaluer les processus de production et de pose, et d'identifier les difficultés éventuelles. Ces défis peuvent ensuite être relevés par des décisions de gestion, en développant une solution technique ou en les abordant dans une étude de recherche.

Le mis en place de la section des enrobés a servi également comme une exemple des possibilités permet de surveiller les performances à long terme et peut servir à accroître la confiance dans la production de mélanges à haute teneur en RAP.

En raison de ces considérations, la construction de sections d'essai a constitué une partie importante du projet HighRAP.

Utilisation du RAP sur les routes à fort trafic

Quatre mélanges HighRAP, dont deux mélanges modifiés aux polymères, à haute teneur en RAP ont été posés dans la Aathalstrasse, Uster. Trois mélanges de référence ont également été placés. Une vidéo de la construction de la section d'essai est disponible ici: <https://youtu.be/MvyCwyrMNOs>.

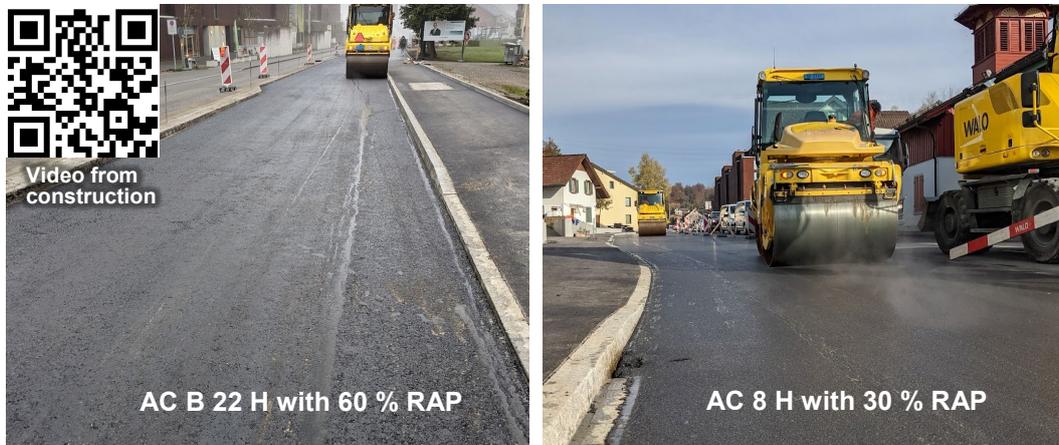


Fig. 7 Construction d'une section d'essai HighRAP à Uster

Les résultats de la section d'essai d'Uster ont démontré qu'en suivant une procédure de conception du mélange basée sur les performances, il est possible de produire des mélanges (y compris pour couche de roulement) avec une teneur en RAP d'au moins 30 %, sans sacrifier les performances du mélange. Avec une teneur en matériau recyclé de 30 %, il est considéré possible d'atteindre les exigences du grade de liant 45/80-80. La résistance au dérapage de ce mélange n'a pas été déterminée.

Avec une teneur en RAP de 60 %, il n'a pas été possible d'obtenir un grade de liant 45/80-80, mais un grade 45/80-65. En raison du point de ramollissement plus bas, les propriétés de cet enrobé HighRAP étaient légèrement inférieures à celles de l'enrobé de référence

AC B 22 H pour la plupart des tests. Les performances dans le simulateur de trafic MMLS3 étaient nettement inférieures à celles de la référence.

La production d'un mélange AC T 22 S contenant 80 % de RAP a été possible en laboratoire, mais en raison des propriétés inadaptées du RAP au moment de la production, il n'a été possible de produire qu'un mélange contenant 65 % de RAP, similaire au mélange de référence. La production d'un mélange à 75 % de RAP a donné lieu à des performances inférieures, probablement en raison des différentes propriétés du liant du RAP disponible au moment de la production.

Il convient de mentionner que pour l'AC T 22 S et l'AC B 22 H, jusqu'à 15 % de matériaux récupérés en plus ont été utilisés dans les mélanges sous la forme de "granulats secondaires". Ce matériau est produit en retirant le RAP de la plupart des liants (teneur en liant restante <1%) et il est utilisé en remplacement des agrégats vierges.

La Fig. 18 compare les résultats les plus informatifs des essais basés sur les performances des mélanges HighRAP avec les mélanges de référence mis en œuvre dans la section d'essai d'Uster.

Mixture	Binder grade	RAP content	Crack propagation resistance		Rutting resistance			Stiffness	Fatigue Resistance		Noise
			SCB	G-R	CC	FR	MSC	ITT	ITT	MMLS3	Texture
AC 8 H (Uster)	AC 8 H HighRAP	45/80-80	30%	➔ ➔	➔ ➔ ➔	➔	➔	➔	➔	-	➔
	AC 8 H reference	45/80-80	0%	● ●	● ● ●	●	●	●	●	-	●
AC B 22 H (Uster)	AC B 22 H HighRAP	45/80-65	60%	➔ ➔	➔ ➔ ➔	➔	➔	➔	➔	➔	-
	AC B 22 H reference	45/80-80	30%	● ●	● ● ●	●	●	●	●	●	-
AC B 22 S (Uster)	AC T 22 S HighRAP 65%	50/70	65%	➔ ➔	➔ - ➔	➔	➔	➔	➔	-	-
	AC T 22 S HighRAP 75%	50/70	75%	➔ ➔	➔ - ➔	➔	➔	➔	➔	-	-
	AC T 22 S reference	50/70	65%	● ●	● - ●	●	●	●	●	-	-

Legend:

- reference mixture result
- ➔ significantly better performance
- ➔ slightly better performance
- ➔ similar performance
- ➔ slightly worse performance
- ➔ significantly worse performance
- SCB Semi-circular bend test (mixture)
- G-R Glover-Rowe test (binder)
- CC Cyclic compression test (mixture)
- FRT French Ruting Tester (mixture)
- MSCR Multiple stress creep recovery test (binder)
- ITT Indirect tensile test (mixture)
- MMLS3 Model mobile load simulator (mixture)
- Texture Laser scanner (pavement)

Fig. 8 Résumé des performances des mélanges de la section d'essai d'Uster

Recommandations concernant l'utilisation du RAP pour les routes à fortes sollicitations :

- Si les propriétés du matériau recyclé le permettent, il est possible d'utiliser jusqu'à 30 % de matériau recyclé dans les mélanges modifiés par des polymères avec un objectif de 45/80-80, y compris les mélanges grossiers pour l'usure. Les exigences relatives aux propriétés du liant conventionnel doivent être assurées dans ce cas.
- Pour l'utilisation d'une teneur en RAP supérieure à 30 % dans les mélanges modifiés au PmB, les exigences relatives aux performances du mélange et du liant récupéré doivent probablement être revues à la baisse. Il est probablement possible de produire jusqu'à 40 ou 50 % de RAP avec un grade cible PmB 45/80-65. La correspondance des propriétés du liant conventionnel doit être assurée dans les deux cas.
- L'utilisation d'une procédure de conception des mélanges basée sur les performances est recommandée afin de fournir un plus haut degré de certitude quant aux performances attendues du mélange. Jusqu'à ce que davantage de données soient

recueillies, cette procédure ne doit pas être utilisée comme un remplacement mais plutôt comme un complément aux essais conventionnels.

- Pour garantir une utilisation fiable de plus de 30 % de RAP dans les mélanges à base de PmB, l'utilisation d'un liant vierge hautement modifié par le PmB doit être envisagée. Un tel liant pourrait permettre de compenser le manque de polymères dans le PmB et d'augmenter la teneur en RAP.
- L'utilisation d'une forte teneur en RAP dans les revêtements destinés aux routes à forte intensité de trafic ne doit être autorisée que si une grande homogénéité du RAP peut être garantie.

Utilisation du RAP dans les chaussées à haute altitude

Cinq mélanges HighRAP à haute teneur en RAP ont été mis en œuvre dans le Lukmanierpass, à une altitude supérieure à 1 900 m, avec les mélanges de référence respectifs, comme indiqué dans le tableau. À cette altitude, la teneur élevée en RAP n'est actuellement pas autorisée et les mélanges de type AC F ne sont pas utilisés.

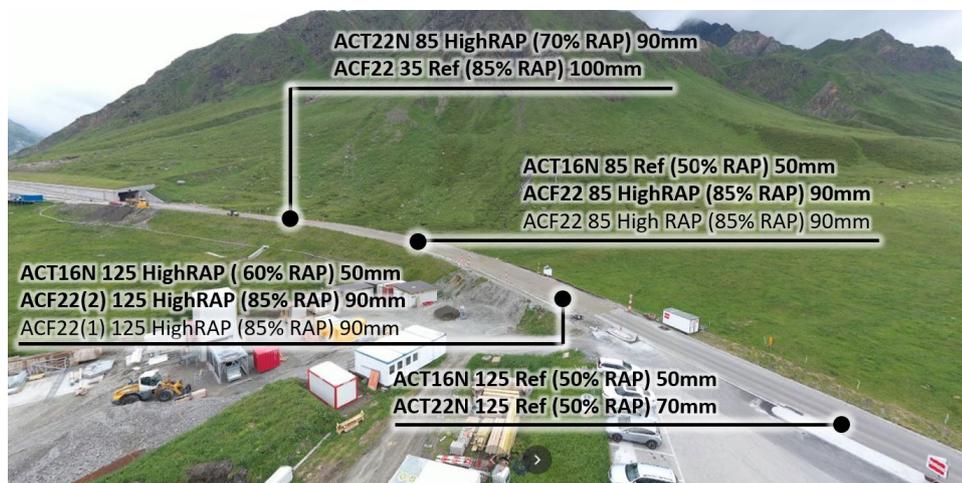


Fig. 9 L'emplacement des mélanges de la section d'essai du Lukmanierpass. Les abréviations HighRAP indiquent que le mélange a été conçu dans le cadre du projet.

Les résultats de la section d'essai du Lukmanierpass permettent de conclure qu'en suivant une conception du mélange basée sur les performances, il est possible de produire des mélanges AC F 22 contenant 85% de RAP avec des propriétés similaires à celles des mélanges conventionnels mis en œuvre à des altitudes supérieures à 1200 m. La résistance aux déformations plastiques des mélanges AC F 22, due à l'utilisation de granulats moins anguleux, est moins bonne que celle de l'AC T 22 N et du mélange AC F 22 avec liant 20/50. Cependant, à haute altitude, étant donné que l'AC F 22 est un mélange pour couche de fondation, le risque de déformations plastiques est moindre.

Les mélanges AC T 16 N et AC T 22 N ont pu être produits avec une teneur en RAP supérieure de 10 % à 20 % par rapport aux mélanges de référence, tout en garantissant des propriétés similaires aux mélanges de référence respectifs.

La Fig. 20 compare les résultats les plus informatifs des essais basés sur les performances des mélanges HighRAP avec les mélanges de référence mis en œuvre dans la section d'essai du Lukmanierpass.

Mixture	Binder grade	RAP content	Crack propagation resistance		Rutting resistance		Thermal Cracking resistance	Stiffness		Fatigue Resistance	
			SCB	G-R	CC	BTSV	TSRST	ITT	ITT	MMLS	
ACT 16 N (Lukmanierpass)	ACT16N 125 HighRAP	100/150	60%	→ →	→ →	→ →	→	↗ ↘	↗ ↘	-	
	ACT16N 125 Reference	100/150	50%	● ●	● ●	● ●	●	●	●	-	
	ACT16N 85 Reference	70/100	50%	↗ →	↗ →	↗ →	→	↗ ↘	↗ ↘	-	
ACT 22 N (Lukm)	ACT22N 85 HighRAP	70/100	70%	→ →	→ →	→ →	→	↑	↗ ↘	-	
	ACT22N 125 Reference	100/150	50%	● ●	● ●	● ●	●	●	●	-	
AC F 22 (Lukmanierpass)	ACF22 85 HighRAP	70/100	85%	↗ ↗	↗ ↗	↑ ↘	↑	↗ ↘	↗ ↘	↗ ↘	
	ACF22(2) 125 HighRAP	100/150	85%	↗ ↗	↗ ↗	→ ↓	↑	→	→	→	
	ACF22(1) 125 HighRAP	100/150	85%	↑ ↗	↗ ↗	→ ↓	-	-	-	-	
	ACF22 35 Reference	20/50	85%	● ●	● ●	● ●	●	●	●	●	

Legend:

- reference mixture result
- ↑ significantly better performance
- ↗ slightly better performance
- similar performance
- ↘ slightly worse performance
- ↓ significantly worse performance
- SCB Semi-circular bend test (mixture)
- G-R Glover-Rowe test (binder)
- CC Cyclic compression test (mixture)
- BTSV BTSV temperature (bitumen)
- TSRST Thermal stress restrained specimen test (mixture)
- ITT Indirect tensile test (mixture)
- MMLS3 Model mobile load simulator (mixture)

Fig. 10 Résumé des performances des mélanges de la section d'essai du Lukmanierpass

Recommandations concernant l'utilisation du RAP en haute altitude

- Permettre l'utilisation des mélanges AC F à haute altitude si la correspondance avec les exigences actuelles en matière de liant et de mélange est assurée et s'il est démontré que le liant de conception n'est pas sujet à un vieillissement accéléré.
- L'utilisation d'une procédure de conception de mélange basée sur les performances est recommandée afin de fournir un degré de certitude plus élevé quant aux performances attendues du mélange. Cette procédure ne doit pas être utilisée comme un remplacement mais plutôt comme un complément aux essais conventionnels.
- Si les performances sont vérifiées, autoriser l'utilisation de mélanges de type AC T avec au moins 70 % de RAP. Pour les mélanges de type AC F 22, l'utilisation de 85 % de RAP est possible.
- L'utilisation d'une teneur élevée en RAP à haute altitude ne doit être autorisée que si une grande homogénéité du RAP peut être garantie.

Une note concernant les recommandations proposées

Les recommandations données sont l'opinion du premier auteur et sont basées sur les résultats de ce projet de recherche. Les situations pouvant varier, il convient de solliciter l'avis d'un expert avant de décider d'appliquer ces recommandations. Bon nombre des recommandations sont conçues comme des solutions globales. Par exemple, l'autorisation d'une teneur plus élevée en PA ne doit être envisagée qu'en conjonction avec l'adaptation des procédures pour garantir une homogénéité élevée du PA.

Rapport complet

Téléchargez le rapport complet, la présentation et les outils développés : <https://www.empa.ch/web/s308/highrap>



Bibliographie

1. Dünner, S. (2013) VSS 2005/454 Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung.
2. You, Z.-P. and Goh, S.-W. (2008) Laboratory Evaluation of Warm Mix Asphalt: A Preliminary Study. *International Journal of Pavement Research and Technology*, **1**, 34–40. <http://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?docid=19971400-200801-201302260004-201302260004-34-40> (25 January 2019).
3. West, R., Michael, J., Turochu, R.E. and Maghsoodloo, S. (2011) Comparison of virgin and recycled asphalt pavements using long-term pavement performance SPS-5 data. In Transportation research board 90th annual meeting. Transportation Research Board, Washington, D.C.
4. Song, W., Huang, B. and Shu, X. (2018) Influence of warm-mix asphalt technology and rejuvenator on performance of asphalt mixtures containing 50% reclaimed asphalt pavement. *Journal of Cleaner Production*, **192**, 191–198. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618313118#bib43> (22 August 2018).
5. Bowers, B.F., Moore, J., Huang, B. and Shu, X. (2014) Blending efficiency of Reclaimed Asphalt Pavement: An approach utilizing rheological properties and molecular weight distributions. *Fuel*, **135**, 63–68. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236114005213?via%3Dihub> (22 August 2018).
6. Kriz, P., Grant, D.L., Veloza, B.A., Gale, M.J., Blahey, A.G., Brownie, J.H., et al. (2014) Blending and diffusion of reclaimed asphalt pavement and virgin asphalt binders. *Road Materials and Pavement Design*, **15**, 78–112. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14680629.2014.927411> (15 March 2018).
7. Sreeram, A., Leng, Z., Zhang, Y. and Padhan, R.K. (2018) Evaluation of RAP binder mobilisation and blending efficiency in bituminous mixtures: An approach using ATR-FTIR and artificial aggregate. *Construction and Building Materials*, **179**, 245–253. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818312315?via%3Dihub> (22 August 2018).
8. Valdés, G., Pérez-Jiménez, F., Miró, R., Martínez, A. and Botella, R. (2011) Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP). *Construction and Building Materials*, **25**, 1289–1297. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061810004496> (22 August 2018).
9. West, R. (2008) Summary of NCAT survey of RAP management practices and RAP variability. Auburn, AL.
10. Zaumanis, M., Oga, J. and Haritonovs, V. (2018) How to reduce reclaimed asphalt variability: A full-scale study. *Construction and Building Materials*, **188**, 546–554. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818320774> (28 August 2018).
11. Zaumanis, M. (2021) Chunk, Breakdown and Filler Increase calculator from paper 'Three indexes to characterize processing of reclaimed asphalt pavement'. January 19, 2021: 10.5281/zenodo.5500154.
12. Zaumanis, M. (2021) CBF milling calculator from paper 'Impact of milling machine parameters on the properties of reclaimed asphalt pavement'. January 19, 2021: 10.5281/ZENODO.4450091. <https://zenodo.org/record/4450091> (2 February 2021).
13. Zaumanis, M. (2022) Binder variability calculator based on reclaimed asphalt pavement (RAP) variability. December 15, 2022: 10.5281/zenodo.7441805. <https://zenodo.org/record/7441805> (15 December 2022).
14. Zaumanis, M. (2022) Rejuvenator dosage calculator for Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). December 15, 2022: 10.5281/ZENODO.7441761. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7441761> (15 December 2022).