



Informations actuelles sur les routes en béton et l'infrastructure routière
Édition janvier 2016

update 44

Surfaces de circulation en ville – béton optimisé en zone urbaine

Les surfaces de circulation en milieu urbain sont soumises à des exigences de plus en plus élevées. C'est pourquoi le projet de recherche Surfaces de circulation en ville s'est consacré à l'impact de l'utilisation du béton à grande échelle sur les surfaces de circulation en milieu urbain. Il a été ainsi constaté que les revêtements en béton clair avaient des effets positifs sur le niveau général des températures de ces surfaces et que la visibilité nocturne des usagers était accrue.

Surfaces de circulation en ville – béton optimisé en zone urbaine

Dr Martin Peyerl, ing. dipl., Smart Minerals GmbH, Vienne
Mag. (HES) Dr Stefan Krispel, ing. dipl., Smart Minerals GmbH, Vienne
Prof. Mag. Dr Philipp Weihs, Université des sciences agricoles, Vienne
Gerald Maier, ing. dipl., Smart Minerals GmbH, Vienne

Le projet de recherche «Optimisation du béton des surfaces de circulation en zone urbaine» se consacre aux exigences croissantes posées aux surfaces de circulation en milieu urbain. L'augmentation du trafic des poids lourds, les usages multiples et l'exiguïté des espaces, mais aussi les qualités de luminosité de ces surfaces jouent un rôle déterminant. À ces facteurs s'ajoute le phénomène marqué des îlots de chaleur urbains ou «heat islands», encore assez sous-estimé. Les rues occupant près de 10% de la surface totale d'une ville, des mesures efficaces sur le long terme peuvent être prises dans ce contexte précis.

1. Les principaux objectifs du projet

À l'heure actuelle, les exigences à l'égard du béton utilisé pour les surfaces de circulation portent uniquement sur la construction: conformité à une classe de résistance exigée, résistance aux conditions environnementales et rugosité appropriée.

Le béton doit encore acquérir des qualités supplémentaires pour être mis en œuvre dans la pose de revêtements routiers. Ces qualités découlent des spécificités du domaine d'application telles que l'éclairage indispensable de l'espace urbain au moyen de luminaires d'éclairage (lampadaires), l'impact sur le microclimat ou le climat local, la présence d'usagers à vitesse de déplacement réduite (p. ex. les piétons). Conçues pour le réseau de transport de haut niveau, les réglementations actuelles ne tiennent pas compte des points mentionnés.

Le climat urbain est, pour l'essentiel, marqué par l'impact des surfaces bâties, qui emmagasinent la chaleur, et créent des îlots de chaleur urbains où les températures peuvent être supérieures de plusieurs degrés à celle de la périphérie rurale. Les surfaces de circulation constituent un aspect capital de l'influence du climat local. L'objectif de l'étude a ainsi porté sur la recherche des possibilités de réductions, en d'autres termes sur l'impact positif des bétons optimisés des surfaces de circulation sur les îlots de chaleur urbains.

On sait que les surfaces claires contribuent, notamment dans les zones peu ou pas éclairées, à ac-

croître le sentiment subjectif de sécurité et à réduire le risque d'accident. Pour ces raisons, le projet a étudié si un choix approprié de surfaces pouvait renforcer la sécurité des usagers. Les diverses surfaces de circulation utilisées dans le cadre du projet présentaient des caractéristiques de luminosité différentes.

Étant donné qu'un changement complet des surfaces de circulation existantes semble, notamment pour des motifs économiques, souvent inadapté, on a analysé des revêtements réalisés selon le procédé du White Topping. Sa mise en œuvre, c'est-à-dire l'application d'une fine couche de béton sur une structure en asphalte existante, doit augmenter la réflectance, mais aussi la portance et la durabilité du revêtement routier. Pour que ce procédé soit efficace, il est essentiel de créer une jonction durable entre l'asphalte et le béton. Pour l'évaluer, on se base sur des évaluations de la surface (caractérisation du motif de fraisage) et sur la détermination des qualités de la jonction. En Autriche, ces caractéristiques ne sont, à ce jour, soumises à aucune exigence normative ou réglementaire. L'identification de ces valeurs spécifiques faisait également partie des objectifs du projet de recherche.

2. L'état de la technique – l'effet d'îlot de chaleur

L'un des phénomènes les plus importants de la climatologie urbaine est un effet de serre supplémentaire marqué, dit îlots de chaleur urbains («heat islands»).

Le climat d'une zone urbaine se démarque en effet nettement des valeurs caractérisant les espaces étendus (un effet particulièrement marqué en été, lors de journées de chaleur sans vent). Outre le réchauffement généralisé, le niveau des températures en milieu urbain augmente lui aussi. Cette hausse entraîne non seulement une baisse notable du bien-être et des capacités, mais aussi un accroissement de la mortalité. [1, 2]

Contrairement au climat de la zone périurbaine (jusque dans un rayon de 250 km), le changement du climat d'une ville repose sur de multiples facteurs. En plus des paramètres d'ordre général – situation, morphologie et taille de la ville – et de l'influence du rayon-

nement solaire, la géométrie du bâti urbain, les obstacles aux flux qui en résultent et la pollution atmosphérique, mais aussi les matériaux de construction utilisés jouent un rôle essentiel sur le caractère marqué d'un îlot de chaleur urbain [3]. Ces divers facteurs d'influence sur le climat de la ville sont réunis au tableau no 1.

Le tableau 1 montre que ces conditions spécifiques entraînent une hausse généralisée de la température. De manière générale, il faut distinguer entre deux sources d'énergie thermique. La chaleur anthropique est émise par les activités humaines, le plus souvent directement par des processus de combustion. Cependant, le pourcentage le plus élevé est celui dû à l'apport de chaleur radiante. Cet apport d'énergie solaire sur une surface s'exprime par l'équation de bilan d'énergie d'une surface (équation I, p. 4) [4].

Tableau 1: Facteurs importants pour le caractère marqué des îlots de chaleur urbains, selon [1]	
Paramètres	Impact énergétique
Géométrie du bâti Surface étendue Resserrement horizontal important Vitesse du vent réduite	Exposition démultipliée des façades au rayonnement solaire Réduction du rayonnement effectif Réduction du transport de la chaleur
Pollution atmosphérique	Augmentation du rayonnement réfléchi
Chaleur anthropique Chaleur émise par les bâtiments Chaleur émise par les processus de combustion	Augmentation de la température Augmentation de la température, augmentation du rayonnement réfléchi dû à la pollution atmosphérique
Matériaux de construction Conductivité thermique accrue Perméabilité à l'eau plus importante	Stockage de chaleur accru Réduction de l'évapotranspiration, refroidissement par évaporation

$$Q_{net} = Q + B + H + V$$
 (équation I)

- Q_{net} Somme de toutes les entrées d'énergie sur une surface
- Q (Rn) Bilan radiatif
- B Flux de chaleur dans le sol
- H Flux de chaleur sensible
- V Flux de chaleur latente

Dans les thèmes énumérés ci-dessus, la part du bilan radiatif représente l'impact, dicté par les matériaux, le plus important sur l'énergie induite dans une surface. Cette part est exprimée par l'équation II suivante.

$$Q = \underbrace{(1 - \alpha) \times G}_{\text{Bilan radiatif ondes courtes}} + \underbrace{(AG - A)}_{\text{Bilan radiatif ondes longues}}$$
 (équation II)

- Q (Rn) Bilan radiatif d'une surface (rayonnement net)
- α Albédo d'une surface
- G (Ri) Rayonnement incident global
- AG (Ra) Rayonnement thermique émis par l'atmosphère
- A (Rt) Rayonnement d'ondes longues émis par la surface de la Terre

L'équation II peut se scinder en un bilan radiatif de courtes ondes et un bilan radiatif de longues ondes. Le bilan radiatif de longues ondes ayant une influence beaucoup plus réduite sur le réchauffement de la surface concernée, cette partie de l'équation est plus importante pour une analyse approfondie. Le facteur déterminant d'un bilan radiatif de courtes ondes est l'albédo d'une surface (α). Mesuré au moyen d'un albedomètre, il définit le rapport entre rayonnement incident et rayonnement émis (courtes ondes). Le tableau 2 fournit une liste de certains albédos de divers matériaux présents dans l'environnement urbain.

Il ressort du tableau ci-dessus que les valeurs de l'albédo diffèrent sensiblement selon le choix de surface. Suivant l'équation II, les différents albédos des matériaux utilisés dans l'espace urbain ont, par nature, un impact décisif sur le bilan radiatif de courtes ondes. Pour illustrer le phénomène, la figure 1 compare le thermogramme du centre de Vienne à la photo satellite correspondante.

Sur le thermogramme de l'illustration 1, les surfaces particulièrement froides sont représentées en noir et les surfaces particulièrement chaudes en rouge. Une comparaison avec le cliché satellite fait clairement apparaître que les surfaces de circulation comme la

«Ringstraße», le «Gürtel», etc. se démarquent par des températures de surface très élevées, alors que les espaces verts affichent un niveau de température nettement plus bas. Ces derniers réduisent en effet la température surfacique de manière particulièrement significative.

Plusieurs études [8, 9, 10 et 11] se sont penchées sur l'impact de la réflexion variable des toitures et des rues asphaltées sur le microclimat des villes et ont cherché à savoir si une modification de la réflexion émise par les surfaces du sol pouvait provoquer des modifications du microclimat.

Pour une surface en asphalté éclaircie de 4500 m², présentant des taux de réflexion de 47% dans la zone de rayonnement visible et de 71% dans la zone de rayonnement infrarouge, Santamouris et al. [11] ont constaté que par beau temps, en été, la température de surface diminuait de 12 °C et la température de l'air de 1,9 °C au-dessus de cette zone par rapport à des surfaces en asphalté classiques. L'augmentation de la réflexion dans la zone d'ondes visibles pourrait, par exemple, provoquer l'éblouissement des automobilistes et, par conséquent, des problèmes de sécurité. C'est pourquoi on s'est intéressé avant tout à l'intensification du taux de réflexion des revêtements asphaltés dans la zone infrarouge.

Tableau 2: Valeurs de l'albédo de matériaux sélectionnés d'après [1, 3 et 5]	
Matériau	Albédo de courtes ondes [%]
Asphalte	5 – 20
Béton	10 – 35
Béton blanc	7
Prairie	15 – 25
Forêt de feuillus	15 – 20

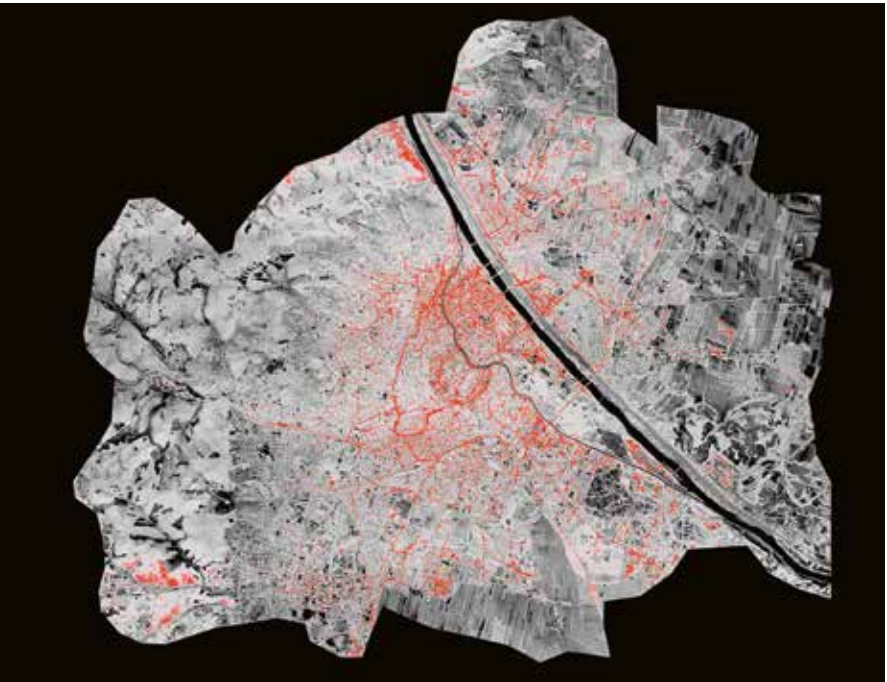


Illustration 1: Comparaison entre le thermogramme de Vienne et l'image satellite [6, 7]

3. Mise en œuvre du projet

Six surfaces d'essai différentes ont été aménagées afin d'analyser les valeurs caractéristiques du climat et les données initiales pertinentes pour des modèles de calcul. Elles se distinguent par des couches de finition variées, mais aussi par le choix de structure globale. Leur structure globale et les textures surfaciques retenues correspondent à celles qui sont généralement utilisées en milieu urbain. Les superstructures sélectionnées étaient un revêtement d'asphalte traditionnel,

un revêtement en béton classique, un trottoir et trois systèmes en White Topping différents. Le tableau 3 résume la structure des surfaces d'essai.

Pour obtenir les valeurs caractéristiques les plus réalistes possible, les surfaces de circulation ont été aménagées dans un secteur sans ombre projetée par les bâtiments et sans végétation.

L'illustration 2 montre la disposition des six surfaces d'essai d'une superficie respective de 8 m × 8 m.

Tableau 3: Structure des surfaces d'essai		
Désignation	Structure	Épaisseur [cm]
White Topping blanc (surface d'essai 1)	Couche de base inférieure non liée granulat rond RK	30
	Couche de base supérieure non liée granulat anguleux KK	10
	Couche de base bitumeuse AC22 70/100 (après fraisage)	10
	Béton supérieur de route OB F52 GK 22 avec ciment blanc	10
Revêtement en béton (surface d'essai 2)	Couche de base inférieure non liée granulat rond RK	30
	Couche de base supérieure non liée granulat anguleux KK	5
	Couche de base bitumeuse AC22 70/100	20
	Béton supérieur de route OB F52 GK 22	20
White Topping «clair» (surface d'essai 3)	Couche de base inférieure non liée granulat rond RK	30
	Couche de base supérieure non liée granulat anguleux KK	10
	Couche de base bitumeuse AC22 70/100 (après fraisage)	10
	Béton supérieur de route OB F52 GK 22 avec pigment blanc	10
Revêtement en asphalte (surface d'essai 4)	Couche de base inférieure non liée granulat rond RK	30
	Couche de base supérieure non liée granulat anguleux KK	15
	Couche de base bitumeuse AC22 70/100	5
	Revêtement bitumeux AC11 70/100	5
White Topping «normal» (surface d'essai 5)	Couche de base inférieure non liée granulat rond RK	30
	Couche de base supérieure non liée granulat anguleux KK	10
	Couche de base bitumeuse AC22 70/100 (après fraisage)	10
	Béton supérieur de route OB F52 GK 22	10
Asphalte coulé (surface d'essai 6)	Couche de base inférieure non liée granulat rond RK	10
	Couche de base supérieure non liée granulat anguleux KK	10
	Béton inférieur C20/25/X0	10
	Asphalte coulé MA4, 90/10	2

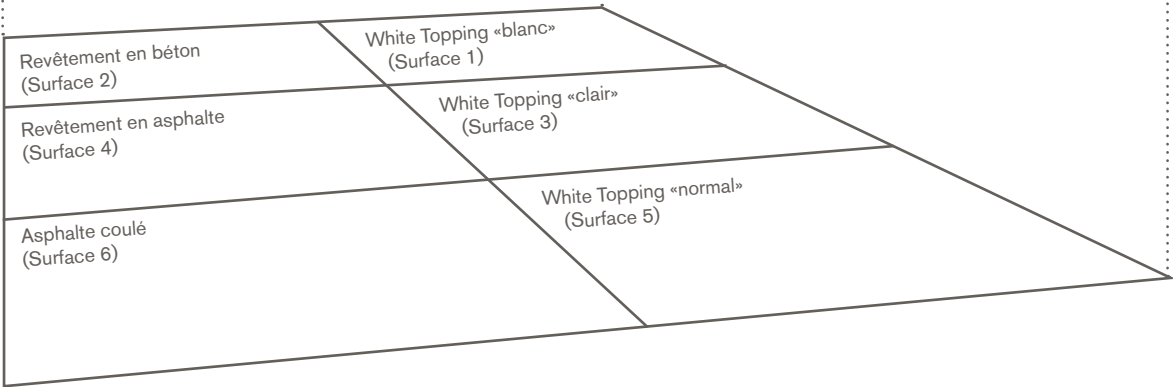


Illustration 2: Disposition des surfaces d'essai



Illustration 3: Décapage par fraisage de la couche supérieure en asphalte



3.1 Construction des surfaces d'essai pour la solution White Topping

La construction des surfaces d'essai pour la solution White Topping s'est déroulée en deux étapes. Après la mise en place de la couche de fondation et des couches de base en asphalte, on a effectué le fraisage de la surface et le relevé des qualités surfaciques (rugosité, etc.), puis mis en œuvre la couche de béton. L'illustration 3 présente l'opération de fraisage au moyen d'une petite fraise.

Le fraisage de la surface est effectué en partie dans le sens longitudinal et en partie dans le sens transversal et longitudinal. Pour obtenir les valeurs de référence, une partie a été laissée telle quelle. L'illustration 4 montre les surfaces après fraisage.



Illustration 4: Surface non fraisée, surface fraisée dans le sens longitudinal, surface fraisée dans le sens longitudinal et transversal

Tableau 4: Composition des formulations pour les types de béton OB GK22 F52, OB GK22 F52 clair et OB GK22 F52 blanc			
Constituants du béton	Pesée selon la recette ou valeurs caractéristiques du béton [kg/m³]		
	OB GK22 F52	OB GK22 F52 clair	OB GK22 F52 blanc
Surfaces d'essai	2, 5	3	1
CEM II/B-M 42,5 N	420	421	-
CEM I 52,5 N ciment blanc	-	-	421
Pigment dioxyde de titane	-	21	-
Granulat rond RK 0/4	780	784	781
Granulat rond RK 8/11	162	163	163
Granulat rond RK 11/22	962	966	965
Eau totale	168	168	167
Fluidifiant	2,96	2,52	2,52
Entraîneur d'air	0,73	0,76	0,75
Valeur eau/béton	0,40	0,40	0,40

Puis on a procédé à la mise en place de la couche de béton, c'est-à-dire que l'on a posé le revêtement en béton sur la surface humide mate. Pour la base, on a eu recours à une formulation «béton supérieur de route» selon la directive autrichienne RVS 08.17.02 [12], de granulat 22 mm au maximum et de consistance F52. La mise en place du revêtement de béton normal (surface d'essai 2) est réalisée avec du ciment CEM II B-S 42,5 N (DZ) [13]. Sur la surface en White Topping (surface d'essai 1), ce ciment a été remplacé par un ciment blanc du commerce. On a ajouté un pigment blanc à la surface claire en White Topping (surface 3). Les pesées théoriques des types de béton figurent au tableau 4.

Comme c'est généralement le cas en milieu urbain, la mise en place du béton fluide a été réalisée manuellement. L'illustration 5 (p. 10) montre l'exemple de mise en œuvre du revêtement en béton de la surface d'essai 1. On a opté pour une finition «coup de balai» pour toutes les surfaces en béton.



Illustration 5: Mise en place du béton et structuration de la surface (coup de balai)

3.2 Analyses des surfaces d'essai

Les analyses ci-dessous ont été menées sur les surfaces d'essai mises en place:

- Détermination des qualités des couches de base en asphalté traitées
- Détermination des valeurs caractéristiques des jonctions sur les surfaces d'essai en White Topping
- Calcul des courbes de température
- Calcul de la luminance et du taux de réflexion
- Analyse de l'impact des surfaces sur le climat (du microclimat au climat local)

3.2.1 Détermination des qualités des couches de base en asphalté traitées

Le procédé White Topping permet une rénovation simple et économique des routes asphaltées en tirant parti de leur support encore résistant. Pour que cette structure fonctionne bien, il est essentiel que les qualités de la jonction entre l'asphalte et le béton soient durables. L'expertise peut se fonder sur des évaluations de surface (caractérisation du motif de fraisage) et sur l'identification des qualités de la jonction. Aucune exigence n'a été formulée à ce jour. On a recouru au procédé connu de la surface sablée d'après Kaufmann afin d'évaluer l'état de la surface et à un procédé stéréoscopique pour la fabrication d'un modèle de surface tridimensionnel.

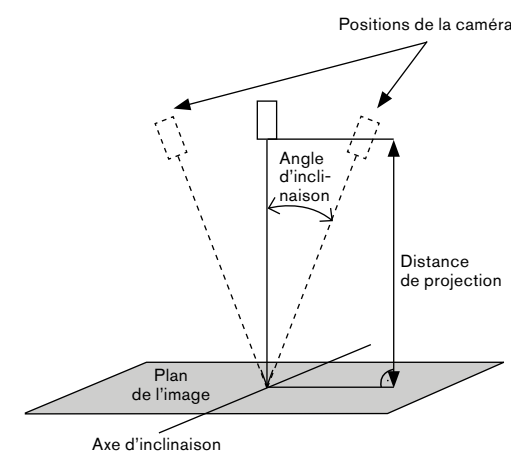


Illustration 6: Configuration d'essai permettant de déterminer les paramètres de surface par la méthode stéréoscopique [14]

L'analyse par stéréoscopie avait pour objectif de mettre en place un modèle numérique de surface (MNS) de la texture du revêtement afin de définir le plus grand nombre possible de paramètres liés aux caractéristiques de la jonction. Ce modèle se base sur un angle différent des prises de vue, similaire au relevé photogrammétrique de la surface terrestre. L'illustration 6 montre le cadre de mesures utilisé, qui permet de réaliser par éclairage optimal deux prises de vue inclinées de quelques degrés à l'aide d'une caméra numérique.

Pour analyser leurs qualités surfaciques, on a pris deux photos, inclinées de 10° à la verticale, de chaque surface à étudier. L'illustration 7 montre un modèle de surface tridimensionnel (MNS) qui a servi de base à l'identification des différents paramètres de description de la texture surfacique.



Illustration 7: Modèle tridimensionnel d'une surface analysée

Les qualités surfaciques ont été évaluées sur la base du MNS selon EN ISO 4287 [15].

3.2.2 Détermination des valeurs caractéristiques des jonctions sur les surfaces d'essai en White Topping

L'analyse des qualités de jonction (résistance à la traction par fendage et énergie spécifique de rupture) entre la couche d'asphalte et la couche de béton passe par une détermination des valeurs mécaniques de rupture en recourant à la méthode de fendage par coin selon la norme autrichienne ÖNORM B 3592 [16]. Des éprouvettes de 10 cm de diamètre ont été prélevées à cet effet sur chacun des éléments de la zone de test. Après préparation (incision des encoches, collage des plaques d'introduction de charges), les éprouvettes sont soumises à charge dans un appareil d'essai. L'essai est suivi de l'enregistrement d'un diagramme force-déplacement jusqu'à fissuration complète de l'éprouvette. Pour toutes les carottes analysées, l'angle du coin était de 15°. L'illustration 8 montre un schéma de l'essai des interfaces selon la norme ÖNORM B 3592 [16].

Il est possible d'enregistrer un diagramme complet force de fendage-déplacement pour l'essai de fendage par coin, ce qui n'est pas le cas pour le test d'adhérence par traction. Ce diagramme figure à l'illustration 9.

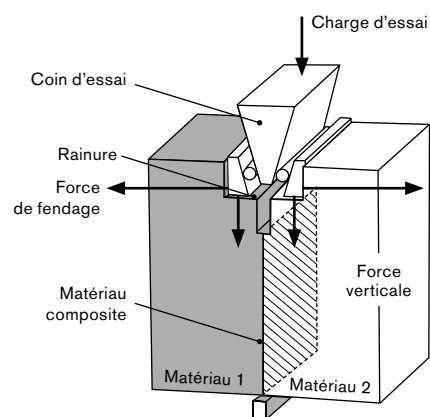


Illustration 8: Schéma d'un essai de matériaux composites par la méthode de fendage par coin [16]

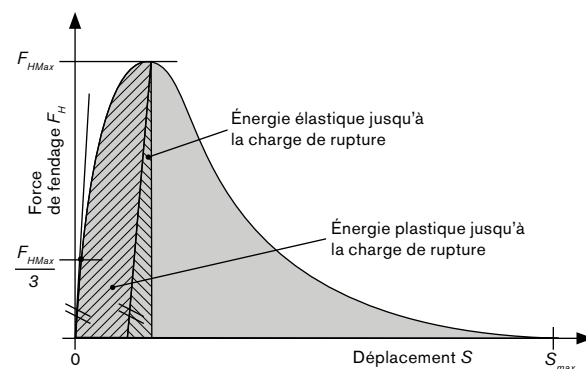


Illustration 9: Diagramme caractéristique force de fendage-déplacement [16]

3.2.3 Analyse des courbes de température

Afin de consigner les effets des différentes surfaces sur le comportement au réchauffement, on a mesuré la température à la surface et aux différents niveaux de profondeur, à différents moments du cycle annuel. Pour cela, on a placé des capteurs thermiques à 0 cm, 2,5 cm, 6 cm et 12 cm de profondeur sur chacune des six surfaces d'essai.

3.2.4 Calcul de la luminance et du taux de réflexion

On a procédé à une analyse de l'éclairage des surfaces d'essai afin d'observer l'effet des différentes surfaces sur le sentiment subjectif de sécurité des usagers, c'est-à-dire sur leur visibilité. Ces essais comprenaient l'évaluation visuelle de l'éclairage nocturne, avec luminaires classiques des rues, et le calcul de la luminance. Pour effectuer les mesures, on a installé un éclairage de rue sur chacune des surfaces d'essai et enregistré la visibilité d'une personne-test. La mesure de la luminance et de la chrominance a été prise en tenant compte des conditions de situation, conformément à la norme autrichienne ÖNORM EN 13201-4 [17] (et dans le respect de la norme ÖNORM EN 13201-3 [18]), au moyen d'une caméra à résolution spatiale placée à une hauteur de 1,5 m. L'éclairage des surfaces était assuré par un éclairage de rue classique (luminaire rectangulaire 150 watts), monté sur une remorque mobile.

Le taux de réflexion a été calculé conformément à BS 8493 [19] pour un état de surface sec. À chaque point de mesure, la valeur moyenne a été déterminée à partir de cinq mesures individuelles. Puis on a fait, sur le point de mesure, pivoter l'appareil de 90°, 180° et 270° dans le sens horaire, et la mesure a été répétée. On a ainsi obtenu, pour chaque point de mesure, une valeur moyenne de quatre mesures pour cinq mesures individuelles. La disposition des mesures figure à l'illustration 10.

3.2.5 Analyse de l'impact des surfaces sur le climat (du microclimat au climat local)

Les analyses portant sur la représentation de l'impact des surfaces comprenaient un volet expérimental et une simulation modélisée basée sur ce volet. Les mesures devaient enregistrer les grandeurs et les phénomènes physiques essentiels pour la simulation. La détermination des qualités optiques des surfaces d'essai, c'est-à-dire l'albédo (réflectance des sur-

faces d'essai) et l'émissivité ϵ des surfaces, en faisaient partie. Pour caractériser le bilan d'énergie, mais ici surtout le bilan radiatif, on a mesuré tous les flux radiatifs émis par le soleil (de courtes ondes), mais aussi par la terre dans l'infrarouge thermique (de longues ondes).

Sur une surface d'essai, les radiomètres ont effectué des mesures continues du bilan radiatif ondes courtes et longues ondes (voir illustration 11, p. 14). Sur les autres surfaces, on a calculé le rayonnement réfléchi à l'aide de capteurs et la température de surface (soit dans le même temps le rayonnement de longues ondes émis) au moyen de capteurs infrarouges thermiques. On a pris également des mesures complémentaires: la température atmosphérique à 10 m d'altitude, la température de surface avec les thermocouples, la température atmosphérique ainsi que la vitesse et la direction du vent, sur une seule surface toutefois représentative de toutes les surfaces.



Illustration 10: Disposition des mesures pour le calcul du taux de réflexion



Illustration 11: Instrument de mesure servant à établir le bilan radiatif, la température atmosphérique, la vitesse et la direction du vent

La capacité thermique massique des surfaces recouvertes est une grandeur nécessaire aux calculs du bilan d'énergie en zone urbaine. Elle indique la quantité d'énergie nécessaire pour réchauffer de 1 K 1 kg d'une matière donnée. On sait que l'énergie thermique est stockée dans les surfaces recouvertes des canyons urbains pour être restituée plus tard dans l'atmosphère. L'inertie thermique est, par conséquent, l'un des principaux facteurs entraînant une surchauffe des villes. Cette capacité thermique massique a été calculée en laboratoire en se basant sur les tests réalisés sur les surfaces d'essai et mis à disposition.

Les valeurs caractéristiques identifiées ont servi de base à des modèles de calcul fondés sur la simu-

lation de canyons urbains dans le cadre de trois scénarios définis.

Ces scénarios étaient:

- Une haie entre trottoir et rue
- Un mur entre trottoir et rue
- Pas de séparation entre trottoir et rue

Pour les calculs de simulation, on a sélectionné les valeurs caractéristiques des surfaces d'essai en asphalte (surface 4) et en White Topping «blanc» (surface 1).

3.3 Résultats du projet

3.3.1 Résultats de la détermination des qualités de couches de base en asphalte traitées

L'évaluation des qualités surfaciques a été réalisée au moyen du modèle numérique de surface (MNS) et de la méthode de contrôle classique de la surface sablée d'après Kaufmann.

Les paramètres de profil, de surface et de volume constituent des éléments essentiels de caractérisation des surfaces. On identifie les paramètres les plus divers en procédant à une découpe fictive à travers une couche (paramètres de profil) ou plusieurs couches (paramètres de surface) de la surface du matériau ou en calculant le volume sous des plans limites (paramètres de volume).

Les résultats de l'analyse des surfaces et des volumes sont présentés dans le tableau synoptique 5. Le tableau 5 montre que la valeur S_{dr} (rapport entre la surface réelle et la surface projetée) la plus importante a été relevée sur les surfaces fraisées dans le sens longitudinal et transversal. Les profondeurs de rugosité les plus importantes (calculées à l'aide du modèle numérique de surface MNS et par le procédé de la surface sablée) ont été identifiées sur les surfaces fraisées dans le sens longitudinal.

Tableau 5: Sélection de paramètres de l'analyse des surfaces et des volumes (valeurs moyennes sur toutes les surfaces d'essai analysées)

État de la surface	Analyse de la surface	Analyse du volume	
	S_{dr}	R_i calculée (MNS)	R_i procédé de la surface sablée
	[%]	[mm]	[mm]
Non traitée	0,23	0,99	0,93
Fraisée dans le sens longitudinal	0,25	1,95	1,76
Fraisée dans le sens longitudinal et transversal	0,41	1,69	1,47

Tableau 6: Valeurs caractéristiques de rupture

Surface	Résistance à la traction par fendage σ_{KZ} [N/mm ²] MW	Énergie spécifique de rupture G_F [N/m] MW
Non traitée	1,65	49
Fraisée dans le sens longitudinal	2,41	106
Fraisée dans le sens longitudinal et transversal	2,66	93

Tableau 7: Exigences concernant les qualités de surface et de jonction

	Qualités de surface			Qualités de jonction	
	R_t [mm]	S_{dr} [%]	f_a [N/mm ²]	σ_{KZ} [N/mm ²]	G_F [N/m]
Paramètres	≥ 1,5	≥ 0,33	≥ 27	≥ 2,3	≥ 90

3.3.2 Résultats de la détermination des valeurs caractéristiques des jonctions sur les surfaces d'essai grâce au procédé White Topping

Le tableau 6 résume les résultats de la détermination des valeurs mécaniques de rupture pour l'interface. La résistance à la traction par fendage peut être mise en corrélation avec la résistance à la traction uniaxiale, c'est-à-dire la résistance à l'adhérence par traction. L'énergie spécifique de rupture est le travail total qui doit être développé pour le fendage de l'interface ou zone de jonction des deux matériaux.

Les résultats présentés au tableau 6 montrent que la résistance à la traction par fendage ou l'énergie spécifique de rupture pour la surface découpée par fraisage longitudinal ou par fraisage longitudinal et transversal sont nettement supérieures aux valeurs de l'interface non traitée. La comparaison entre ces types surfaciques (fraisage longitudinal et fraisage longitudinal et transversal) révèle qu'un fraisage transversal supplémentaire entraîne une légère augmentation de la résistance à la traction par fendage, mais ne contribue pas à une hausse de l'énergie spécifique de rupture.

Sur la base des qualités identifiées des surfaces ou jonctions, on a pu définir des exigences pour l'exécution des solutions futures en White Topping. Elles sont compilées au tableau 7.

3.3.3 Résultats de l'analyse des courbes de température

De manière générale, on a relevé les températures surfaciques les plus élevées sur les surfaces d'asphalte coulé et les revêtements d'asphalte. Les surfaces en béton affichaient des températures maximales inférieures de près de 10 K. En comparant les revêtements en béton, on s'aperçoit que la surface réalisée par White Topping «blanc» engendre la température de surface la plus basse. La différence entre le White Topping «clair», le White Topping «normal» et un revêtement en béton courant est relativement ténue, voire négligeable. L'illustration 12 (p. 16) montre la courbe des températures de surface au mois de juillet.

Les impacts des différentes qualités de matériaux sur les températures peuvent être relevés jusqu'à une profondeur de 12 cm, mesurée depuis la surface de chaque zone d'essai. L'illustration 13 (p. 16) présente les températures relevées à 6 cm de profondeur au mois de juillet. Il apparaît clairement que les surfaces en béton affichent des températures maximales réduites.

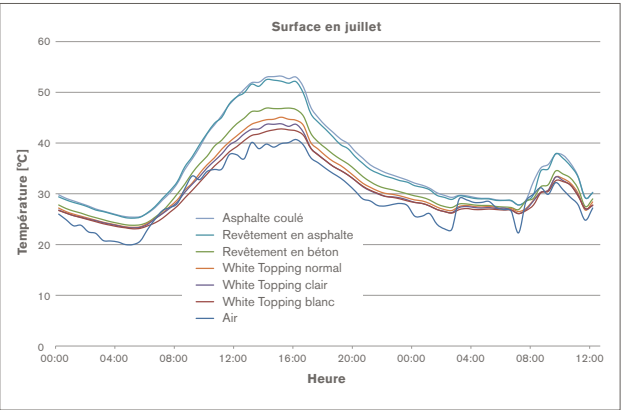


Illustration 12: Température de surface au mois de juillet

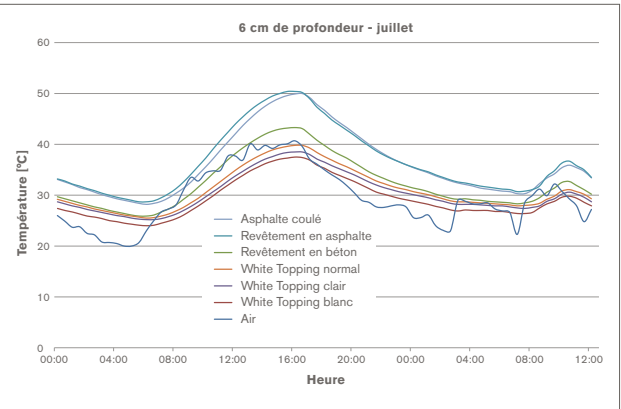


Illustration 13: Températures à 6 cm de profondeur, au mois de juillet

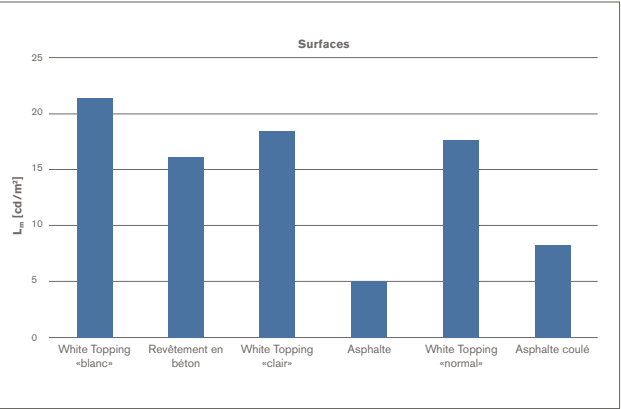


Illustration 14: Luminance moyenne L_m sur les surfaces analysées

3.3.4 Résultats de l'analyse de la luminance et du taux de réflexion

L'illustration 14 fournit les résultats de mesure de la luminance sur les surfaces d'essai.

À la suite du calcul de la luminance moyenne, on a établi des images de la luminance des surfaces d'essai. L'illustration 15 fournit des exemples de la luminance du revêtement en asphalte (surface d'essai 4) et du revêtement en béton (surface d'essai 2).

Les résultats exposés ont permis d'établir que les surfaces en béton affichent des luminances beaucoup plus élevées que les surfaces d'asphalte ou d'asphalte coulé. On a procédé à une évaluation optique de la visibilité d'une personne sur les différentes surfaces d'essai afin d'effectuer une vérification supplémentaire des données de mesure. L'illustration 16 montre la personne-test sur le revêtement en béton (surface d'essai 2) et ce même sujet sur la surface d'asphalte coulé (surface d'essai 6). On constate sans équivoque qu'il est beaucoup plus facile d'identifier la personne sur la surface en béton, en d'autres termes que sa visibilité est meilleure et que, de manière générale, il est possible d'accroître la sécurité de l'utilisateur. On n'a observé aucune différence visuelle entre les surfaces en béton.

Le taux de réflexion a également été mesuré sur toutes les surfaces. Il peut être utile, par la suite, pour une évaluation simple ou rapide des qualités de luminosité in situ, p. ex. à la suite des réceptions sur chantiers. Les valeurs résultantes présentent une forte corrélation avec les résultats des mesures de la luminance. Cette méthode d'évaluation fait, elle aussi, ressortir les avantages de la technique du béton par rapport aux matériaux bitumeux.

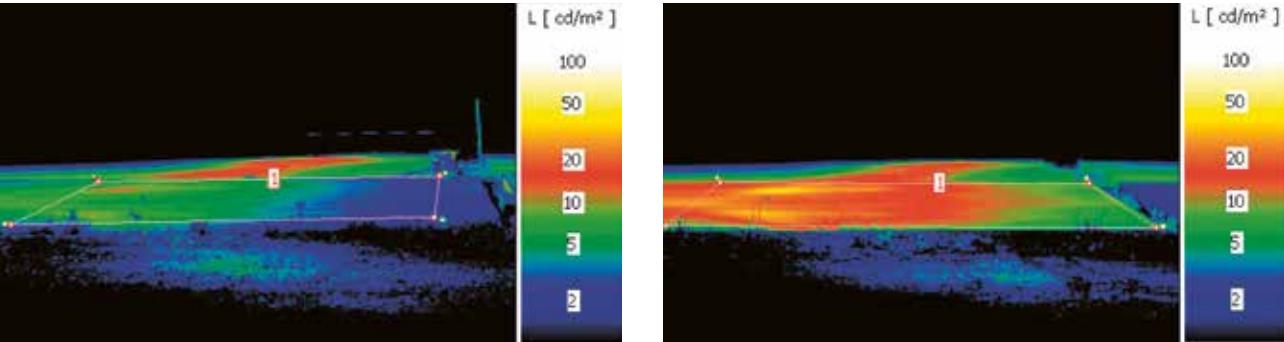


Illustration 15: Images de luminance (à gauche: revêtement en asphalte; à droite: revêtement en béton) [20]



Illustration 16: Visibilité d'une personne-test (à gauche: asphalte coulé; à droite: revêtement en béton)

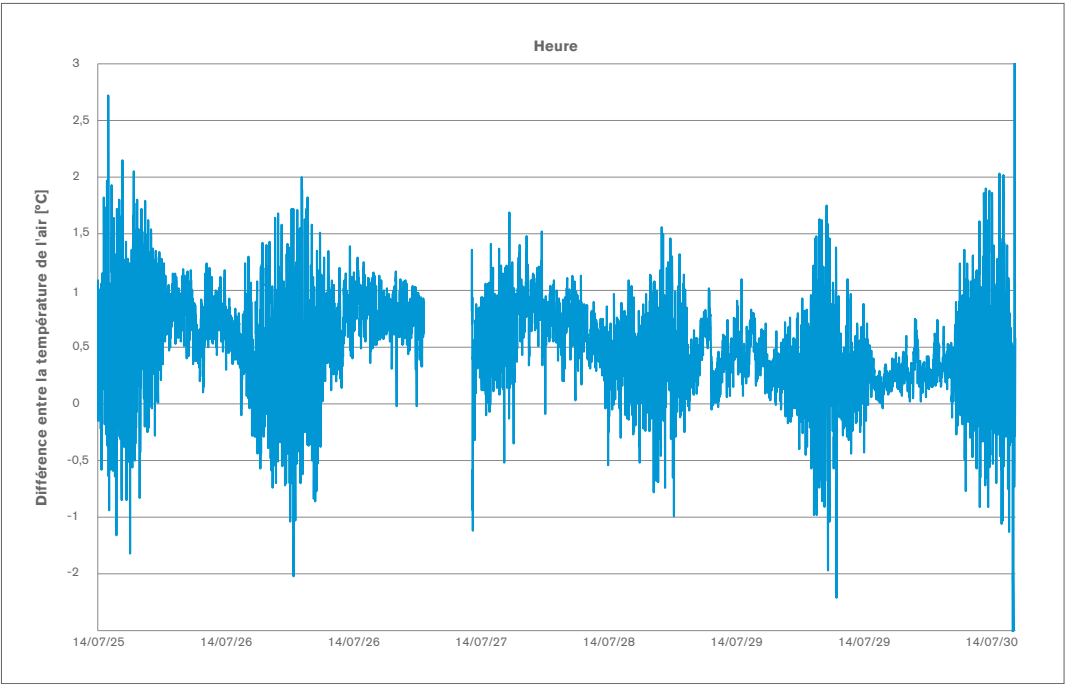


Illustration 17: Différence entre la température atmosphérique mesurée à 10 cm de haut au-dessus du revêtement en asphalte (surface 4) et la température mesurée au-dessus de la surface en White Topping «blanc» (surface 1).

3.3.5 Résultats de l'analyse de l'impact des surfaces sur le climat (du microclimat au climat local)

L'analyse des mesures, exposées au chapitre 3.2.5, du bilan radiatif et des températures surfaciques sur toutes les surfaces d'essai révèle l'influence indubitable de l'albédo sur la température surfacique. Des mesures au moyen de thermocouples et de capteurs infrarouges et des enregistrements par caméra thermique ont montré – comme rapporté au chap. 3.3.3 – des différences de température de surface allant jusqu'à 15 °C: la surface d'essai en asphalte a atteint des températures jusqu'à 53 °C, et la surface en White Topping, avec l'albédo le plus élevé, a affiché jusqu'à 42 °C. Pour la température de l'air, des mesures par thermocouples, à 10 cm de haut, ont relevé une très forte variation des valeurs en raison de l'ascendance thermique, de turbulences et d'effets périphériques (influence des diverses caractéristiques des masses d'air transportées par l'environnement (illustration 17). On a réalisé une simulation de l'impact de l'albédo du

sol et des qualités des matériaux sur la température atmosphérique au moyen du modèle du bilan d'énergie urbain Envi-met version 3.99 [21]. Utilisées comme paramètres d'entrée, les qualités des matériaux des différentes surfaces d'essai sont définies en laboratoire ou sur une parcelle expérimentale, et figurent dans le tableau synoptique 8. Afin d'éviter tout effet périphérique, on a adopté une surface homogène en asphalte ou en béton sur toute la grille (150 × 150 m).

Le tableau 8 regroupe les résultats des mesures albédo des six surfaces d'essai et des températures de surface maximales. La colonne n° 3 affiche la constante d'émission, trouvée par comparaison de la température de surface mesurée (PT100) avec le rayonnement de longues ondes mesuré (radiomètre à 4 composantes de Kipp & Zonen). La colonne n° 4 indique la capacité thermique massique des matériaux, déterminée en laboratoire.

Les simulations réalisées avec Envi-met ont montré une différence de près de 11 °C entre la surface en asphalte et la surface en White Topping: la première a

Tableau 8: Résultats des mesures sur les six surfaces d'essai				
Surface	Albédo	Température de surface [°C]	Constante d'émission	Capacité thermique massique [J/(kg.K)]
Asphalte coulé (surface d'essai 6)	0.12	50 ± 1°C	0.95 ± 0.02	901
Revêtement en asphalte (surface d'essai 4)	0.13	52 ± 1°C	0.98 ± 0.02	901
Revêtement en béton (surface d'essai 2)	0.48	48 ± 1°C	0.99 ± 0.02	721
White Topping «blanc» (surface d'essai 1)	0.57	41 ± 1°C	0.99 ± 0.02	891
White Topping «clair» (surface d'essai 3)	0.47	44 ± 1°C	0.99 ± 0.02	891
White Topping «normal» (surface d'essai 5)	0.48	43 ± 1°C	0.99 ± 0.02	891

atteint des températures allant jusqu'à 52 °C et la seconde jusqu'à 41 °C. Le profil de température vertical, calculé au centre de la grille de modélisation, figure à l'illustration 18 (p. 20). Les maxima de température atmosphérique relevés à 15h10 sont de 32,2 °C au-dessus de la surface en asphalte, à 20 cm de hauteur, et de 31,1 °C au-dessus de la surface en White Topping. La différence entre les deux est de 1,1 °C.

La température atmosphérique, mais aussi le rayonnement de longues ondes et de courtes ondes reçu par l'être humain entrent en ligne de compte dans l'évaluation du stress thermique. Les flux radiatifs agissant sur le corps humain et le rayonnement reçu par le corps sont décrits par la température de rayonnement moyenne.

En raison du rayonnement réfléchi à courtes ondes, celle-ci atteint, à 15h00, une valeur maximale de 74,9 °C au-dessus du White Topping, supérieure à celle enregistrée au-dessus de l'asphalte où le résultat s'élève à 66,3 °C. Bien que la température atmosphérique relevée au-dessus du White Topping soit plus faible, les calculs du stress thermique Index UTCI (universal thermal climate index) révèlent qu'il est légèrement plus élevé au-dessus du béton qu'au-dessus de l'asphalte, où l'UTCI atteint 41,6 °C. Les résultats présentés dans le cadre de la présente étude sont en parfaite adéquation avec ceux des études déjà publiées [22,23], qui indiquent un accroissement du stress thermique dû à une augmentation de l'albédo des environs.

L'influence d'une hausse de l'albédo des rues sur une possible diminution de la température moyenne d'une métropole a été estimée par la suite sur la base des résultats de publications scientifiques.

D'après Akbari et Rose [24], les surfaces recouvertes représentent environ 29 à 44% de la surface d'une ville. En supposant que les rues (sans trottoir) n'occupent que 20% des surfaces, l'accroissement de l'albédo des rues de 0,2 à 0,5 entraînerait un accroissement de l'albédo urbain moyen d'environ 0,12. Les équations de régression développées par Santamouris [25], qui font le lien entre la baisse de la température moyenne et maximale d'une ville et une modification de l'albédo, ont ensuite été utilisées pour évaluer son impact sur le climat à grande échelle. Une augmentation de 0,12 de l'albédo urbain provoquerait

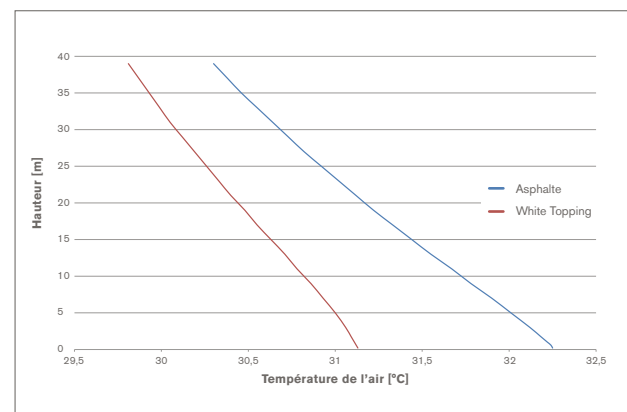


Illustration 18: Profil vertical de la température atmosphérique au-dessus de l'asphalte et au-dessus du White Topping. Ce calcul a été effectué à l'aide du modèle Envi-met et d'une surface homogène de 150 × 150 m. La simulation a été réalisée à des hauteurs situées entre 0,2 et 39 m.

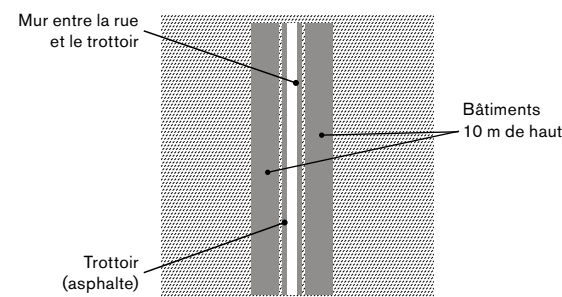


Illustration 19: Canyon urbain défini pour des simulations Envi-met. La rue est orientée nord-sud. Le revêtement en White Topping d'un albédo de 0,57 ou en asphalte (albédo = 0,12) sert de référence. Le trottoir est doté d'une surface asphaltée d'un albédo de 0,12. La largeur de la rue est de 4 m, celle du trottoir de 2 m.

une diminution de 0,4 °C, voire de 1 °C de la température atmosphérique journalière moyenne et maximale durant les journées d'été sans nuages.

En dernier lieu, la présente étude s'est penchée sur les conséquences positives d'une augmentation de l'albédo grâce à des voies de circulation plus réfléchissantes, pour examiner si elles pouvaient être exploitées par un aménagement adapté du territoire, tout en évitant un stress thermique local accru pour l'homme. Le modèle Envi-met a simulé des techniques permettant de prévenir le stress thermique de l'homme.

On a calculé le stress thermique sur l'organisme humain pour un canyon urbain typique (illustration 19), en envisageant trois scénarios: pour une rue en White Topping et un trottoir en asphalte a) avec ou sans séparation par b) un mur ou par c) une haie entre la rue et le trottoir.

On a comparé ces calculs avec le calcul de référence, c'est-à-dire la simulation pour une rue asphaltée, trottoir en asphalte inclus. Les résultats figurent aux illustrations 20 et 21. Le revêtement de rue en White Topping au centre d'un canyon urbain entraîne une hausse de la température moyenne de rayonnement, puis un accroissement du stress thermique. L'impact de la réflexion de courtes ondes plus élevée de ce revêtement disparaît en revanche au-dessus du trottoir à 1 m de distance de la bordure.

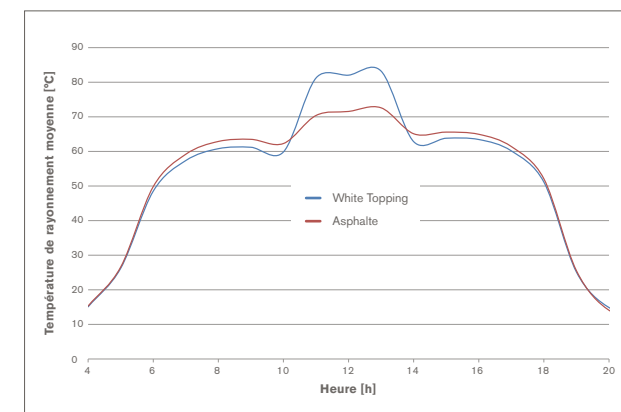


Illustration 20: Schéma diurne de la température de rayonnement moyenne à 1 m au-dessus du canyon urbain

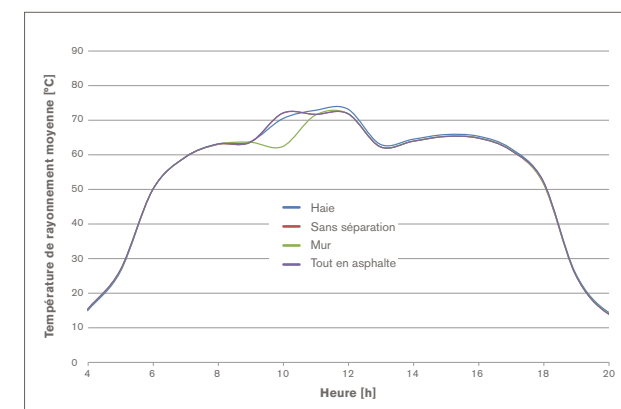


Illustration 21: Schéma diurne de la température de rayonnement moyenne à 1 m au-dessus du trottoir gauche du canyon urbain

- Haie: la rue et le trottoir sont séparés par une haie de 1,6 m de haut
- Sans séparation: pas de séparation entre la rue et le trottoir (se superpose avec la courbe «Tout en asphalte»)
- Mur: la rue et le trottoir sont séparés par un mur de 1,6 m de haut
- Tout asphalte: le trottoir et la rue sont recouverts d'un revêtement asphalté

4. Synthèse

Les analyses effectuées donnent les résultats suivants:

- L'évaluation, au moyen du modèle numérique de surface (MNS), des qualités surfaciques, p. ex. avant l'application de couches de béton supplémentaires en cas de solution White Topping, constitue une alternative utile au procédé traditionnel de la surface sablée d'après Kaufmann. Et ce, d'autant plus lorsqu'on doit, par exemple, évaluer ou enlever in situ des motifs de fraisage prédéfinis ou similaires.
- Les diverses qualités surfaciques (p. ex. type de fraisage) influent de manière significative sur les valeurs mécaniques de rupture de la zone de jonction.
- La méthode de fendage par coin est une méthode d'évaluation appropriée des qualités de la jonction. Elle comporte une analyse de la résistance à la traction par fendage et de l'énergie spécifique de rupture. Cette méthode permet d'évaluer efficacement les éléments de jonction comme les surfaces en White Topping.
- Les analyses réalisées permettent de formuler les exigences ci-dessous quant à l'exécution des futures surfaces en White Topping:
 - Valeurs caractéristiques de surface:
 - Profondeur de rugosité $R_f \geq 1,5 \text{ mm}$
 - Rapport surface «réelle»-surface «projetée» $S_{dr} \geq 0,33$
 - Qualités de jonction exigées:
 - Résistance à la traction par fendage $\sigma_{KZ} \geq 2,3 \text{ N/mm}^2$
 - Énergie spécifique de rupture $GF \geq 90 \text{ N/m}$
- Les variations du comportement au réchauffement des différents matériaux sont décrites en mesurant les températures à différents niveaux de profondeur (0 cm, 2,5 cm, 6 cm et 12 cm). Les résultats montrent que les surfaces en béton présentent des maxima de température inférieurs jusqu'à 10 K par rapport aux surfaces en asphalte coulé ou asphalte. Ce comportement au réchauffement varié, attesté jusqu'à une profondeur de 12 cm a des conséquences sur le microclimat d'une ville.
- Le remplacement des routes asphaltées par un revêtement en béton (p. ex. White Topping) d'un albédo de 0,5 entraînerait une diminution d'environ 1 °C de la température atmosphérique journalière en été. Les modélisations de la température atmosphérique au-dessus d'une surface homogène de 150 × 150 m montrent une diminution de la température de 1 °C au-dessus du White Topping par rapport à l'asphalte.

- D'après les données fournies par le service météorologique et de géophysique («Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik») de Vienne, Autriche [26], l'atmosphère de la capitale autrichienne a connu un réchauffement de quelque 2 °C depuis la fin du XIX^e siècle. Rien que depuis 1980, on a constaté une hausse de la température de 1 °C. En conséquence, l'utilisation du béton pour remplacer les matériaux de construction bitumeux sur les surfaces de circulation urbaines constitue ici un apport important concernant l'impact positif du climat urbain, c'est-à-dire le réchauffement urbain.
- On a également procédé à une analyse de l'éclairage des différentes surfaces d'essai afin d'observer leur impact sur le sentiment subjectif de sécurité des usagers, autrement dit sur leur visibilité. Pour cela, on a, d'une part, analysé la luminance selon des méthodes d'analyse normatives et, d'autre part, évalué la visibilité des personnes sur différentes surfaces routières. Les résultats des essais ont montré les atouts nets des techniques liées au ciment (revêtement en béton, procédé du White Topping) par rapport aux revêtements bitumeux (asphalte, asphalte coulé). L'évaluation optique de visibilité des sujets d'essai a confirmé sans équivoque les différences de luminance mesurées.
- La détermination du taux de réflexion constitue une méthode de contrôle prometteuse pour des évaluations simples et rapides in situ, p. ex. à la suite de réception sur les chantiers si des valeurs techniques indicatives sont exigées. Les valeurs résultantes sont tout à fait comparables aux résultats des mesures de luminance chronophages et onéreuses.
- En se fondant sur l'étude de projet menée, on peut résumer comme suit: il est possible, d'une part, de réduire nettement la température de surface et le niveau général des températures en milieu urbain (exemple de la métropole de Vienne) en réalisant des surfaces de circulation claires et, d'autre part, d'améliorer de manière notable la visibilité des usagers du trafic tout en maintenant le même éclairage nocturne. Le système White Topping est ici une méthode de rénovation particulièrement efficace: il améliore de manière simple et économique la portance, mais aussi les qualités de luminosité des revêtements routiers urbains. En outre, les différentes surfaces d'essai ont permis de définir des exigences pour la réalisation future des superstructures de ce type.

Bibliographie:

[1] Matzarakis, A.: Die thermische Komponente des Stadtklimas, Habilitation an der Universität Freiburg, Freiburg. 2001.

[2] Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J.: Stadtklima und Luftreinhaltung, 2. Aufl. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. 1999.

[3] Fezer, F.: Das Klima der Städte, Perthes Geographie Verlag, Gotha. 1995.

[4] Wistuba M., Litzka J., Blab R.: Klimakenngrößen für den Straßenoberbau in Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung Heft 507, Wien. 2001.

[5] Nefzger, H., Karipot A.: Einfluß von Strahlung und Mikroklima auf Straßenwetterprognosen, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien. 1997.

[6] Wiener Umweltschutzabteilung MA 22, Thermalbild vom 15.08.2001 20-22MEZ.

[7] Google.at/maps, abgerufen im Jänner 2010.

[8] Zinzi M.: Cool materials and cool roofs: Potentialities in Mediterranean buildings. Adv. Build. Energ. Res. 2010, 4, 201-266.

[9] Synnefa A., Karlessi T., Gaitani N., Santamouris M., Assimakopoulos DN., Papakatsikas C. : On the optical and thermal performance of cool colored thin layer asphalt used to improve urban microclimate and reduce the energy consumption of buildings. Build Environ, 2011, 46, 38-44.

[10] Doulos L., Santamouris M., Livada I.: Passive Cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. Sol Energy 2004, 77(2), 231-249.

[11] Santamouris M., Gaitani N., Spanou A., Saliari M., Giannopoulou K., Vasilakopoulou K., Kardomateas T.: Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas e Design realization and results of the flsvos project, 2012. Building and Environment 53, 128-136.

[12] RVS 08.17.02: Deckenherstellung, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien. 2011.

[13] ÖNORM B 3327-1: Zemente gemäß ÖNORM EN 197-1 für besondere Verwendungen - Teil 1: Zusätzliche Anforderungen. Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2005.

[14] Peyerl, M.: Bruchmechanische und stereoskopische Charakterisierung von Interfaces zementgebundener Werkstoffe, Dissertation an der TU Wien, 2012.

[15] EN ISO 4287: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Benennungen, Definition und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit, Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2008.

[16] ÖNORM B 3592: Bestimmung der Kerb-Spaltzugfestigkeit und der spezifischen Bruchenergie von Baustoffen, Baustoffverbindungen und Verbundwerkstoffen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2011.

[17] ÖNORM EN 13201-4: „Straßenbeleuchtung – Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2005.

[18] ÖNORM EN 13201-3: Straßenbeleuchtung - Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale, Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2005.

[19] BS 8493:2008+A1:2010: Light reflectance value of a surface – Method of test. BSI Standards Publication, 2008.

[20] Laborbericht über die Bestimmung der Leuchtdichte von unterschiedlichen Straßenoberflächen, Erstellt im Rahmen des Forschungsprojektes von der Magistratsabteilung 39 - Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien, 2015.

[21] Bruse et al, <http://www.envi-met.com/documents/onlinehelpv3/helpindex.htm>.

[22] Hui Li, 2012 Evaluation of Cool Pavement Strategies for Heat Island Mitigation. Phd University of California.

[23] Lee, H., Mayer, H., Schindler, D., 2014: Importance of 3-D radiant flux densities for outdoor human thermal comfort on clear sky summer days in Freiburg, Southwest Germany, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 23, No. 3, 315-330.

[24] Akbari H and Rose L S 2008 Urban surfaces and heat island mitigation potentials J. Human-Environ. Syst. 11 85-101.

[25] Santamouris, M., 2014: Cooling Cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environment. Solar Energy 103, 682-703.

[26] <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur> (Abgerufen am 2015.10.28).

Groupement d'intérêts des routes en béton

cemsuisse
Association suisse de l'industrie
du ciment
Marktgasse 53, 3011 Berne
Téléphone 031 327 97 97
Fax 031 327 97 70
info@cemsuisse.ch
www.cemsuisse.ch

Grisoni-Zaugg SA
ZI Planchy
Case postale 2162, 1630 Bulle 2
Téléphone 026 913 12 55
Fax 026 912 74 54
info@grisoni-zaugg.ch
www.groupe-grisoni.ch

Holcim (Schweiz) AG
Hagenholzstrasse 83, 8050 Zurich
Téléphone 058 850 68 68
Fax 058 850 68 69
betonstrassen@holcim.com
www.holcim.ch

Holcim (Suisse) SA
1312 Eclépens
Téléphone 058 850 92 14
Fax 058 850 92 95
chausseebeton@holcim.com
www.holcim.ch

Implenia Schweiz AG
Binzmühlestrasse 11, 8050 Zurich
Téléphone 058 474 75 00
Fax 058 474 95 15
daniel.hardegger@implenia.com
www.implenia.com

Jura-Cement-Fabriken AG
Talstrasse 13, 5103 Wildegg
Téléphone 062 887 76 66
Fax 062 887 76 69
info@juracement.ch
www.juracement.ch

Juracime SA
Fabrique de ciment
2087 Cornaux
Téléphone 032 758 02 02
Fax 032 758 02 82
info@juracime.ch
www.juracement.ch

KIBAG Bauleistungen AG
Strassen- und Tiefbau
Müllheimerstrasse 4
8554 Müllheim-Wigoltingen
Téléphone 052 762 61 11
Fax 052 762 61 14
p.althaus@kibag.ch
www.kibag.ch

Müller Engineering GmbH
Beratung und Expertisen
für Verkehrsflächen in Beton
Kirchstrasse 25, 8564 Wäldi/TG
Téléphone 079 247 82 49
gm@müller-engineering.ch
www.müller-engineering.ch

Specogna Bau AG
Steinackerstrasse 55
8302 Kloten
Téléphone 044 800 10 60
Fax 044 800 10 80
info@specogna-bau.ch
www.specogna-bau.ch

Synaxis AG Zürich
Thurgauerstrasse 56
8050 Zurich
Téléphone 044 316 67 86
Fax 044 316 67 99
c.bianchi@synaxis.ch
www.synaxis.ch

Toggenburger AG
Schlossackerstrasse 20
Postfach 3019, 8404 Winterthur
Téléphone 052 244 13 03
Fax 052 244 12 24
info@toggenburger.ch
www.toggenburger.ch

Ciments Vigier SA
Zone industrielle Rondchâtel
2603 Péry
Téléphone 032 485 03 00
Fax 032 485 03 32
info@vigier-ciment.ch
www.vigier-ciment.ch

Walo Bertschinger Zürich AG
Postfach 1155, 8021 Zurich
Téléphone 044 745 23 11
Fax 044 745 23 65
kurt.glanzmann@walo.ch
www.walo.ch

BETONSUISSE



BETONSUISSE Marketing AG
Marktgasse 53, CH-3011 Berne
Téléphone +41 (0)31 327 97 87, Fax +41 (0)31 327 97 70
info@betonsuisse.ch, www.betonsuisse.ch

InformationsZentrum Beton GmbH
Steinhof 39, D-40699 Erkrath
Téléphone +49 (0)211 28048-1, Fax +49 (0)211 28048-320
erkrath@beton.org, www.beton.org

Verein Betonmarketing Österreich
Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H.
Reisnerstraße 53, A-1030 Vienne
Téléphone +43 (0) 1 714 66 85-0
zement@zement-beton.co.at, www.zement.at