

Synthèse d'étude

Les revêtements des surfaces extérieures, une carte en main des villes dans leur action climatique

La Ville de Lausanne a commandé une étude sur les enjeux climatiques des matériaux utilisés dans ses espaces extérieurs à faible trafic. Elle révèle une belle marge de manœuvre en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de lutte contre la surchauffe estivale.

1. Contexte

En Suisse, comme partout ailleurs, le climat change et continuera de changer. Dans notre pays, la moyenne des températures pour 2024 est déjà supérieure de 2,8°C par rapport à l'ère préindustrielle. Les années à venir seront synonymes de vagues de chaleur plus intenses et plus fréquentes, de précipitations plus disparates - moindres en hiver, plus fortes en été -, avec un stress hydrique accru pour la végétation.

Les changements climatiques ne se traduisent pas partout de manière uniforme : les centres urbains amplifient la hausse des températures et les fortes intempéries y ont des conséquences démultipliées. La Ville de Lausanne, comme toutes les collectivités publiques, entend adapter son territoire pour renforcer la résilience de sa population, de ses écosystèmes, de ses infrastructures. Dans ce but, elle s'est dotée en 2021 d'un ambitieux Plan climat. Ce document se déploie en deux volets d'égale importance : l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre, et l'adaptation face aux changements.

1.1 Volet atténuation

La Ville de Lausanne s'est fixé l'objectif d'atteindre zéro émission directe de gaz à effet de serre pour 2050. D'importants investissements sont prévus à cette fin : extension du réseau de chauffage à distance, rénovation du parc bâti, transformation de l'espace public pour favoriser les mobilités actives et décarbonées, etc. Ces chantiers impacteront les surfaces extérieures de nombreuses parcelles publiques et privées. Cela représente des opportunités, mais aussi le risque d'émettre trop d'émissions indirectes si les bons choix ne sont pas effectués.

1.2 Volet adaptation

Parallèlement, Lausanne développe les conditions qui permettront à la ville d'être résiliente malgré les effets des changements climatiques. L'arborisation apportant ombrage et fraîcheur, la Ville vise une couverture de canopée de 30% de territoire urbain d'ici à 2040

contre un peu plus de 20% aujourd'hui. Le concept de « ville éponge », qui rend la ville plus résiliente face aux intempéries, est un autre axe exploré : en période de pluie, plutôt que de ruisseler en surface, l'eau est infiltrée et stockée, et s'évaporerait plus tard contribuant à rafraîchir la ville en été.

2. L'étude

C'est dans ce contexte que Lausanne a mandaté l'institut de recherche Energy de la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR) et l'entreprise Ecoscan SA pour effectuer une étude sur les enjeux climatiques des revêtements des surfaces extérieures. La démarche vise à doter la Ville d'un outil interne permettant d'évaluer le plus précisément possible l'impact climatique de ses revêtements usuels.

Les surfaces concernées ici sont les espaces piétonniers et les espaces à faible trafic : places, placettes, trottoirs, préaux, parvis, entrées d'immeubles, stationnements pour deux-roues et voitures, etc., présents tant sur l'espace public que chez les privés. Les routes à plus fort trafic n'ont pas été prises en compte en raison du nombre limité de revêtements adaptés à cet usage.

L'étude avait pour mission, dans la logique des deux volets exposés plus haut, d'évaluer à la fois l'empreinte carbone des revêtements (atténuation) et de définir les principes d'aménagement les plus pertinents pour lutter contre le réchauffement de la ville et améliorer sa perméabilité (adaptation).

Sept types de matériaux, répartis en quatre catégories, ont été étudiés.

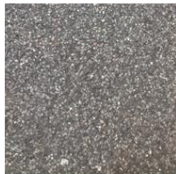
Revêtements coulés	Revêtements modulaires	Revêtements granulaires	Non-revêtements
Enrobés bitumineux 	Béton préfabriqué 	Stabilisé naturel 	Terre végétale 
Béton coulé 	Pierre naturelle 	Gravier-gazon 	

Figure 1: familles de revêtements intégrés à l'étude

Pour le volet lié aux émissions de gaz à effet de serre, l'entier du cycle de vie a été examiné. Cela inclut l'extraction et la fabrication des matériaux, leur transport, le type de pose (liée au ciment ou non liée), la finition, (coupe, sciage, flammage, etc.) et la fin de vie. L'étape d'entretien n'a pas été incluse.

Les auteurs de l'étude se sont par ailleurs attelés à évaluer l'empreinte carbone du complexe constructif dans son ensemble, du fond de forme au revêtement de surface. Les revêtements ont été comparés en considérant, pour chacun, une surface de un mètre carré et en considérant une durée de vie égale. Les résultats sont exprimés en équivalents CO₂ (kg CO₂e).

Dans le cadre du volet adaptation, l'étude a évalué les températures de surface pour chaque matériau considéré, ainsi que leur perméabilité. L'analyse de la perméabilité est utile pour mieux gérer les eaux météoriques. Cela permet de réduire quelque peu le volume d'eau rejeté dans les milieux récepteurs, dont la STEP. De plus, un revêtement perméable contribue à rafraîchir la ville, puisque l'eau stockée sur place pourra être évaporée ultérieurement, ce qui contribue à diminuer la température de l'air.

La température de surface a été modélisée à l'aide de l'outil ICEtool du logiciel QGIS, tenant compte de plusieurs paramètres physiques propres à chaque revêtement. La perméabilité des revêtements à l'eau de pluie est quant à elle estimée en utilisant les coefficients de ruissellement disponibles dans la norme SN 592 000, adaptés par la Ville de Lausanne.

3. Les résultats

Les analyses livrent des résultats extrêmement intéressants, avec des écarts significatifs entre les familles de revêtements considérés. Sous l'angle de l'empreinte carbone, de la lutte contre la surchauffe estivale et la perméabilité, des leviers d'actions existent donc. Ils sont bien entendus à mettre en relation avec les autres paramètres – techniques, financiers, esthétiques – entrant en ligne de compte dans le choix des matérialités.

3.1 Empreinte carbone

L'empreinte carbone des revêtements varie fortement entre les complexes constructifs, en fonction des matériaux retenus mais aussi des autres paramètres analysés comme le type de pose.

Vue d'ensemble

La Figure 2 compare l'impact total des matériaux en prenant comme seuil de référence les émissions des enrobés bitumineux. Ces revêtements, couramment utilisés, sont constitués de granulats minéraux, de liant bitumineux (l'élément qui pèse de loin le plus dans le bilan de ce revêtement) et d'additifs. Selon la méthodologie expliquée plus haut, leur empreinte carbone se situe entre 40 et 45 kg CO₂e par m². A noter que plus la part d'agréats recyclés

dans le mélange est élevée, plus le résultat s'améliore (jusqu'à environ 30% de réduction d'émissions).

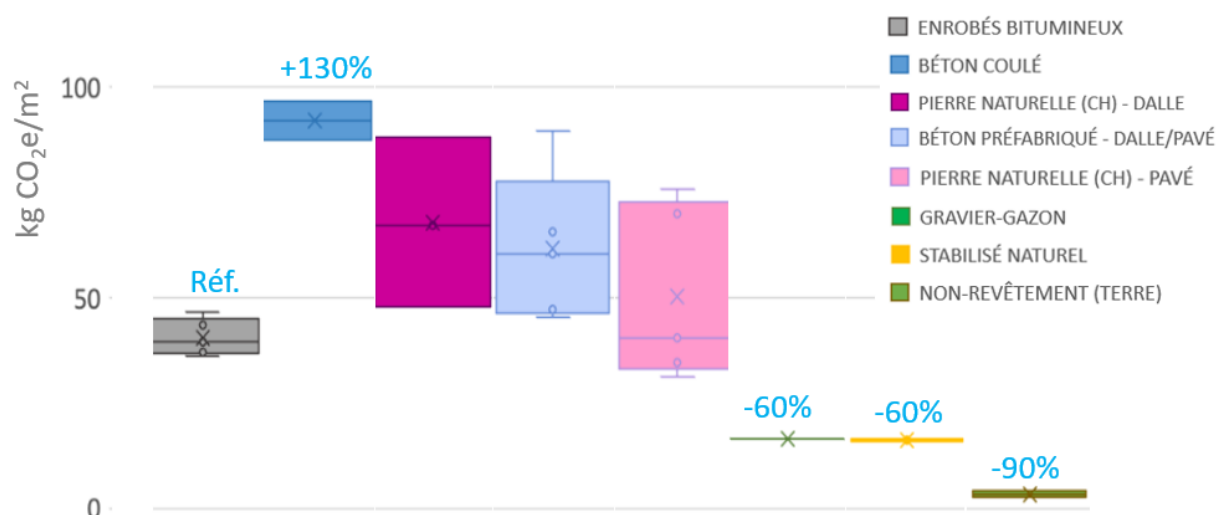


Figure 2: vue d'ensemble de l'empreinte carbone par famille de revêtement. Ne prenant pas en compte le potentiel de réutilisation pour les revêtements granulaires et modulaires. Le pourcentage est présenté pour la médiane pour chaque catégorie de revêtements.

En regard, un assemblage gravier-gazon (gazon stabilisé) présente une empreinte carbone de moins de 20 kg CO₂e par m², soit de 60% inférieure aux enrobés bitumineux. Avec 3 à 5 g CO₂e par kg, la production de gravier est en effet économe en émissions. Le stabilisé naturel aussi appelé matière d'agrégation calcaire (qui est un gravier concassé plus ou moins marneux qui contient des fines), présente des résultats similaires, soit 60% d'émissions de moins que les enrobés bitumineux. Opter pour ce type de revêtements granulaires, dans les zones qui le permettent, permet de réduire de moitié les émissions par rapport à un enrobé bitumineux.

Dans le cas d'un « non-revêtement », à savoir un aménagement à base de terre végétale, le bilan carbone atteint carrément une baisse de 90%, soit une fraction des émissions des enrobés bitumineux.

Les pavés en pierre naturelle sont le seul matériau « en dur » dont l'empreinte carbone peut-être inférieure à celle des enrobés bitumineux. Deux conditions pour cela : pose non liée (non cimentée) et pierres naturelles d'origine locale.

Les revêtements coulés ou liés ont une empreinte carbone supérieure, voire fortement supérieure aux enrobés bitumineux. Le béton coulé par exemple, avec son fort taux de ciment, obtient des résultats aux alentours de 90 kg CO₂e par m², soit +130% par rapport à l'enrobé bitumineux.

Importance de l'origine des matériaux

Autre éclairage apporté par l'étude, l'importance de l'origine des matériaux dans leur bilan carbone. Comme il s'agit de matériaux à relativement faible empreinte par kilogramme, mais particulièrement lourds, le transport joue un rôle déterminant dans les résultats.

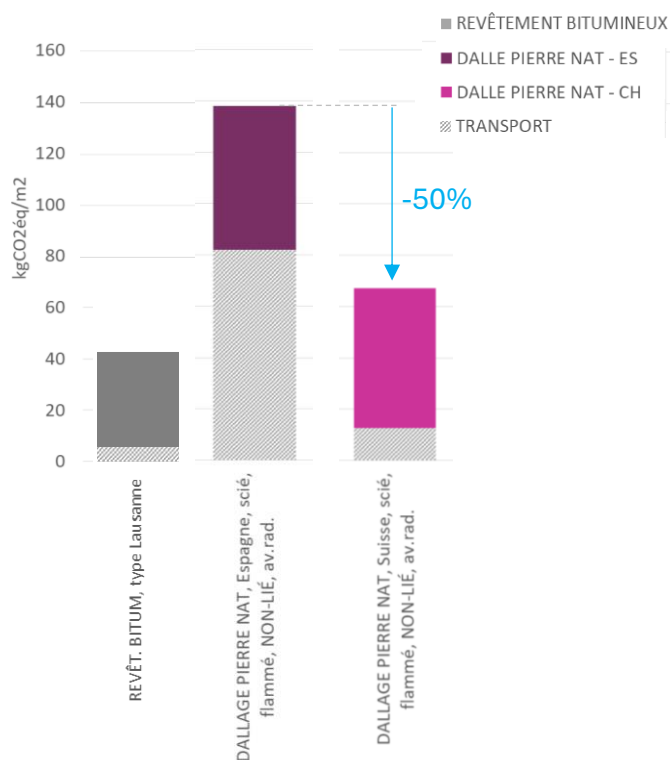


Figure 3: impact de la distance de transport

La Figure 3 compare ainsi des dalles en pierres naturelles venues d'Espagne à un matériau du même type produit en Suisse. Le transport des dalles espagnoles, calculé à plus de 80 kg CO₂e par m², totalise plus de la moitié du bilan carbone du revêtement (140 kg CO₂e par m²). Les dalles suisses, dont les émissions de gaz à effet de serre pour la production sont similaires, ont un bilan carbone deux fois moindre grâce à la réduction de l'impact des transports (environ 12 kg CO₂e par m²).

Pose liée (cimentée) et pose non liée

Dans le cas de pavages et de dallages, le type de pose – liée (cimentée) ou non liée – joue également un rôle important en raison de l'empreinte carbone très élevée du ciment. La pose non liée permet d'éviter l'utilisation de mortier de pose et de jointoyage que les auteurs de l'étude estiment à 10 kg CO₂e par m², mais aussi, dans certains cas, celle d'un radier de béton, dont l'empreinte peut atteindre 20 kg CO₂e par m². Un aménagement en pavé suisse, pose non liée, affiche ainsi un bilan carbone deux fois inférieur au même matériau, cimenté.

Dans ce cas, le bilan carbone de l'aménagement en pavé suisse est légèrement meilleur que celui de l'enrobé bitumineux.

Matériaux granulaires et modulaires non liés

Précisons encore que les résultats présentés ci-dessus considèrent égale la durée de vie des revêtements. Or, des travaux ultérieurs tels que des fouilles (canalisations, réseaux) avant la durée de vie théorique des aménagements sont fréquents en milieu urbain. Dans ce cas, les matériaux granulaires (graviers, stabilisés) et modulaires non liés (pavés) permettent une réduction d'émission substantielle en étant stockés sur place, avant de les réutiliser. Les autres matériaux, notamment les revêtements coulés, ne peuvent qu'au mieux être recyclés, ce qui nécessite transport et énergie

3.2 Adaptation aux changements climatiques

Lutte contre la surchauffe en milieu urbain

Les auteurs de l'étude ont modélisé la température de surface des revêtements, placés dans les mêmes conditions spatiales et météorologiques, lors d'un 21 juillet ensoleillé. Les variations ont été modélisées en prenant en compte plusieurs paramètres, dont l'albédo est sans doute le plus connu : une couleur claire réfléchit le rayonnement, alors qu'une couleur foncée l'absorbe et chauffe plus. Outre l'albédo, les autres paramètres physiques intégrés sont l'émissivité (capacité à absorber et réémettre l'énergie par rayonnement), la capacité thermique (capacité d'un matériau à accumuler de la chaleur) et la conductivité thermique (capacité d'un matériau de transférer de la chaleur par unité de temps).

Dans ces conditions identiques, les revêtements présentent de grandes variations de température de surface. Tous les paramètres physiques y contribuent à des degrés divers.

Revêtement	Température de surface estimée ¹⁾	Perméabilité: gain par rapport à surface imperméable ²⁾
Gazon-prairie vert ³⁾	30 – 35 °C	80-90%
Gravier-gazon	35 – 40 °C	50-80%
Gazon-prairie sec ³⁾	40 – 45 °C	80-90%
Stabilisé naturel	40 – 45 °C	10-30%
Béton coulé	40 – 45 °C	0%
Enrobés bitumineux clairs	40 – 45 °C	0%
Pierre naturelle (pavés pose non-liée)	45 – 50 °C	10-20%
Béton préfabriqué (pavés pose non-liée)	45 – 50 °C	10-20%
Enrobés bitumineux classiques	45 – 50 °C	0%

Figure 4: indicateurs d'adaptation des revêtements analysés. 1) Source ICEtool, sur une surface ensoleillée, un 21 juillet « moyen ». 2) Adaptée de norme VSS, à pente nulle. 3) Ou non-revêtement

En prenant comme référence un terrain naturel végétalisé, les températures évaluées pour les autres matériaux peuvent être sensiblement plus élevées (voir Figure 4). La température du gravier-gazon monte ainsi d'approximativement +5°C; celle du béton coulé, du stabilisé ou d'un gazon sec de +10°C; on atteint carrément les +15°C pour la pierre, certains pavés, ou le revêtement bitumineux.

Des enrobés bitumineux plus clairs ont été développés par certains fabricants. Le potentiel de réduction de la température de surface par rapport aux enrobés classiques est limité à environ -5°C dans les conditions du modèle, ce qui est relativement faible. Sur les autres aspects intégrés à l'étude, empreinte carbone et perméabilité, les enrobés bitumineux clairs ne sont pas préférables aux enrobés classiques.

Les auteurs de l'étude ont également modélisé l'effet additionnel de l'arborisation. L'ombre apportée par la canopée permet de réduire jusqu'à 20° C supplémentaire la température de surface des différents revêtements testés. La réalisation d'aménagements associant arborisation et sélection judicieuse des matérialités est donc nécessaire pour la réalisation d'îlots de fraîcheur, là où cela est possible.

Perméabilité des revêtements

Les actions liées à la perméabilité des revêtements apportent aussi des résultats significatifs, avec des écarts prononcés, présentés à la Figure 4. Les enrobés bitumineux et les bétons coulés sont des surfaces totalement imperméables. A l'inverse, les surfaces perméables que sont les gazons peuvent infiltrer jusqu'à 90% des eaux. Entre deux, les surfaces semi-perméables sont les pavés en pose non liée (10-20%), le stabilisé (20-30%) et le gravier-gazon (50-80%).

De façon intéressante, les revêtements les plus perméables sont aussi ceux qui contribuent le moins à la surchauffe des milieux urbains, et ceux ayant la plus faible empreinte carbone. Ils sont donc à privilégier à triple titre.

Ces résultats doivent cependant être interprétés avec un œil critique, puisque les conditions locales et le type de pose sont susceptibles de faire varier sensiblement les résultats. Par exemple, le taux de ruissellement effectif dépend d'autres paramètres comme la pente et la quantité d'eau déjà présente dans le terrain. De même, un revêtement stabilisé absorbera plus ou moins d'eau selon sa granulométrie et le compactage effectué. Enfin, une pose non liée sera plus ou moins perméable en fonction du ratio vide-plein de l'aménagement réalisé.

4. Conclusion

Cette étude confirme certaines options retenues par les collectivités publiques depuis déjà plusieurs années. Les leviers d'actions climatiques potentiels sont quantifiés dans cette étude, et ils peuvent être importants. Les considérations climatiques devraient donc peser lors de la conception des aménagements, au même titre que les considérations esthétiques

ou financières par exemple. Cela s'applique autant aux autorités responsables du domaine public, qu'aux propriétaires sur leurs parcelles respectives.

4.1 Enseignements principaux

1. Sélectionner judicieusement les revêtements est un levier d'action pour réduire les émissions de gaz à effet de serre des villes et pour les adapter aux conditions climatiques futures. Face à l'ampleur des enjeux et à l'urgence climatique, chaque mètre carré compte !
2. Sous l'angle conjoint de la réduction des émissions, de la gestion de l'eau et de la lutte contre la surchauffe en milieu urbain, privilégier les matérialités extensives que sont notamment la terre végétale, le gravier-gazon ou le stabilisé naturel.

4.2 Autres recommandations

3. Parmi les surfaces en dur comme alternatives aux enrobés bitumineux, retenir les matérialités en pavés en pierre naturelle, d'origine locale, en pose non liée (non cimentée).
4. Associer arborisation et sélection judicieuse des revêtements – clairs, ou à faible conductivité thermique – est nécessaire pour réaliser des îlots de fraîcheur là où cela est possible. Mises en œuvre seules, ces deux solutions sont insuffisantes pour rafraîchir efficacement la ville.
5. Privilégier les matériaux locaux. L'empreinte carbone totale des revêtements est particulièrement sensible à la distance de transport de ces matériaux lourds depuis leur lieu d'extraction ou de production.
6. Limiter lorsque cela est possible le recours aux matériaux fortement carbonés que sont le ciment mais aussi les métaux. Pour les revêtements modulaires, la pose liée (cimentée) devrait être limitée aux situations qui l'imposent. De même, les autres éléments des aménagements utilisant ces matériaux, par exemple les voliges acier enchâssées dans un socle de mortier cimenté, devraient être questionnés au cas par cas.
7. Tout particulièrement pour les aménagements provisoires ou lorsque des travaux ultérieurs sont probables (fouilles réseaux, etc.), préférer les revêtements modulaires non liés ou les revêtements granulaires. Ils peuvent aisément être réutilisés sur place après travaux sans accroître sensiblement leur empreinte carbone, à l'inverse des revêtements coulés ou liés. Les possibilités de réemploi dépendent également des « modes » et de l'état du matériau après la déconstruction. C'est pourquoi les pavés en pierre naturelle sont plus fréquemment réutilisés que les pavés en béton préfabriqué.
8. Innover lors de l'utilisation d'enrobés bitumineux. Par exemple, incorporer des granulats recyclés ou encore remplacer une partie des granulats par du charbon végétal (biochar). Pour autant qu'il permette de stocker du carbone sur le long terme, il est reconnu comme une technologie à émission négative (NET). Le bilan de son utilisation dépend toutefois beaucoup de son mode de fabrication, raison pour laquelle le contrôle de la chaîne d'approvisionnement est nécessaire.