

**EXAMEN PROFESSIONNEL D'AVANCEMENT DE GRADE
DE TECHNICIEN PRINCIPAL TERRITORIAL DE 2^E CLASSE**

SESSION 2023

**ÉPREUVE DE RAPPORT AVEC PROPOSITIONS OPÉRATIONNELLES
SPÉCIALITÉ : RÉSEAUX, VOIRIE ET INFRASTRUCTURES**

Rédaction d'un rapport technique portant sur la spécialité au titre de laquelle le candidat concourt. Ce rapport est assorti de propositions opérationnelles.

Durée : 3 heures
Coefficient : 1

Recto

Ne retourner que suite au signal du responsable de salle.

À LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE TRAITER LE SUJET :

- ♦ Sauf consignes particulières figurant dans le sujet, vous devez écrire uniquement à l'aide d'un stylo à encre foncée, non effaçable sur votre/vos copies(s) et vous pouvez utiliser du blanc correcteur.
- ♦ Un seul sujet est donné au candidat. Aucun autre exemplaire du sujet ne pourra lui être fourni.
- ♦ Vous ne devez faire apparaître aucun signe distinctif (nom, prénom, signature, numéro de candidat, découpage et collage des copies entre elles, rabat occultant du coin supérieur droit de la copie non plié et collé, brouillons même vierges remis avec la/les copies...) dans votre/vos copie(s) et/ou annexe(s) le cas échéant (intercalaires, papier millimétré, feuille blanche). Sera considéré comme signe distinctif tout élément permettant de différencier et repérer particulièrement la ou les copies et non requis pour répondre à la commande du sujet.
- ♦ Le non-respect des règles ci-dessus peut entraîner l'annulation de la copie par le jury.
- ♦ Les feuilles de brouillon ne seront en aucun cas prises en compte.

Ce sujet comprend 25 pages

**Il appartient au candidat de vérifier que le document comprend
le nombre de pages indiqué.**

S'il est incomplet, en avertir un surveillant.

Vous êtes technicien territorial principal de 2^e classe, responsable du service voirie de la commune de Techniville, 75 000 habitants. Suite aux canicules successives qui se sont déroulées ces dernières années sur le territoire, les élus souhaitent engager une politique de lutte contre les îlots de chaleur urbains.

Le directeur des services techniques vous demande de rédiger à son attention, exclusivement à l'aide des documents joints, un rapport technique sur les aménagements de voirie permettant de lutter contre la chaleur urbaine.

10 points

Dans un deuxième temps, il vous demande d'établir un ensemble de propositions opérationnelles concernant l'espace public pour lutter contre les îlots de chaleur sur le territoire de Techniville.

Pour traiter cette seconde partie, vous mobiliserez également vos connaissances.

10 points

Liste des documents :

- Document 1 :** « L'albédo » - *CNRS - Sagascience* - consulté le 5 novembre 2022 - 1 page
- Document 2 :** « Qu'est-ce-que l'effet d'albedo, cette solution non polluante qui permet de réduire la chaleur en ville » - *Ouest-France* - 2 août 2022 - 2 pages
- Document 3 :** « Limiter le bruit et la chaleur avec des nouveaux revêtements en test à Paris » - *adaptaville.fr* - consulté le 11 novembre 2022 - 3 pages
- Document 4 :** « Quel est le meilleur revêtement pour limiter la formation des îlots de chaleur urbains ? » (extrait) - *researchgate.com* - consulté le 11 novembre 2022 - 7 pages
- Document 5 :** « Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain à l'attention des collectivités territoriales » (extraits) - *Ademe* - octobre 2012 - 5 pages
- Document 6 :** « Revêtements perméables : intérêts et enjeux » (extraits) - *Plantes et Cités* - avril 2021 - 5 pages

Dans le cadre de sa politique environnementale, la cellule pédagogique nationale privilégie des impressions en noir et blanc. Les détails non perceptibles du fait de ce choix reprographique ne sont pas nécessaires à la compréhension du sujet, et n'empêchent pas son traitement.

Documents reproduits avec l'autorisation du C.F.C.

Certains documents peuvent comporter des renvois à des notes ou à des documents non fournis car non indispensables à la compréhension du sujet.

DOCUMENT 1

L'albédo

L'albédo est une valeur physique qui permet de connaître la quantité de lumière solaire incidente réfléchie par une surface. Concernant le climat, cette variable est importante car elle exprime la part de rayonnement solaire qui va être renvoyée par l'atmosphère et la surface terrestre vers l'espace et qui donc ne servira pas à chauffer la planète.

L'albédo est une grandeur sans dimension. Sa valeur s'exprime soit par un pourcentage entre 0% et 100%, qui est donc le pourcentage de lumière réfléchie par rapport à la quantité reçue, soit par un chiffre entre 0 et 1, qui est la fraction de la lumière réfléchie.

Ainsi une surface parfaitement blanche réfléchit toute la lumière et son albédo est de 100%.

A l'inverse, une surface parfaitement noire ne réfléchit aucune lumière, donc absorbe l'intégralité du rayonnement solaire qu'elle reçoit. Son albédo est de 0%.

Par exemple, les océans ont un albédo compris entre 5 et 10%; le sable entre 25 et 40%; la glace environ 60%; la neige épaisse et fraîche jusqu'à 90%. Les continents, qui ont un albédo plus élevé que celui des océans, apparaissent plus clairs sur les photos satellite que les océans qui, eux, apparaissent noirs. Toutes surfaces confondues, l'albédo moyen terrestre est de 30%.

La fonte de la banquise ou les variations d'occupation des sols, comme dans les cas de déforestation massive, entraînent une modification de l'albédo, ce qui contribue à modifier les échanges d'énergie sur la planète, et donc influe sur le climat. Des changements dans la couverture nuageuse entraînent des modifications de l'albédo de la planète et de la transmission du rayonnement infrarouge, donc de l'effet de serre, ce qui contribue aussi à modifier les échanges de chaleur et d'eau sur la planète.



Consulté le 5/11/2022

Qu'est-ce que l'effet d'albédo, cette solution non polluante qui permet de réduire la chaleur en ville ?

Les records de température atteints en France en cet été 2022 poussent à repenser les politiques urbaines en matière d'adaptation à la chaleur. L'architecte et ingénieur Raphaël Ménard nous explique comment la multiplication des surfaces claires permet de faire baisser les températures en ville, grâce à l'effet d'albédo. Entretien.

Les pics de chaleur ont marqué le mois de juillet 2022 dans l'Hexagone. Face à un mercure qui frôle les 40 °C en ville, climatiseurs et ventilateurs peuvent apparaître comme la solution miracle pour nous rafraîchir. Des alternatives non polluantes existent cependant pour éviter les villes fournaises, parmi lesquels la prise en compte de l'albédo. Cette capacité d'une surface à réfléchir les rayons du soleil en fonction de sa couleur apparaît comme une solution essentielle pour éviter d'emmagasiner la chaleur. Ingénieur et architecte, Raphaël Ménard est président de l'agence d'architecture internationale Arep (Aménagement Recherche Pôles d'échanges), filiale de SNCF Gares & Connexions, qui place l'urgence écologique au cœur de ses projets. Selon lui, il est urgent d'intégrer l'albédo dans les politiques urbaines. Entretien.

Raphaël Ménard, comment caractériser l'effet d'albédo ?

L'effet d'albédo, c'est la capacité d'une surface à réfléchir l'énergie solaire. Plus la surface est claire, plus l'albédo est élevé. Par exemple, l'albédo d'une neige fraîche et immaculée des cimes de l'Himalaya avant qu'elle ne soit salie par les fumées atmosphériques, est très élevé, car presque 100 % de l'énergie est réfléchi. En revanche, les surfaces noires ont un albédo très faible, proche de zéro, parce qu'elles absorbent quasiment tous les rayons.

En résumé, un albédo élevé fait baisser les températures d'une surface donnée...

Les objets noirs qui ont un albédo faible absorbent davantage les rayons du soleil, et se réchauffent plus vite. C'est le cas de l'asphalte de nos routes et de nos parkings, qui sont de véritables radiateurs urbains ! À l'inverse, les objets blancs, qui ont un albédo élevé, réfléchissent ces rayons, et se réchauffent donc bien moins rapidement. En période de grandes chaleurs comme c'est le cas actuellement, mettre en action les propriétés de l'effet d'albédo, c'est limiter les effets d'îlots de chaleur urbains, c'est refroidir les villes...

Quelles seraient alors les stratégies concrètes à mettre en place pour maximiser l'effet d'albédo ?

Il faut comprendre que dans la situation dans laquelle nous sommes, qui est celle du bouleversement climatique, les petits gestes comptent. Cette adaptation au réchauffement de la planète ne peut se faire sans modification du paysage ! En premier lieu, les initiatives en termes d'effet d'albédo doivent s'articuler autour des bâtiments. Je prends un exemple : si, en Bretagne, le plan local d'urbanisme m'imposait l'ardoise pour le toit de la maison que je souhaite construire, je pourrais tenter de me procurer des ardoises claires, pour éviter d'emmagasiner trop de chaleur dans ma maison.

Les législateurs, les mairies, les collectivités, doivent prendre la mesure des conséquences que peut avoir un albédo élevé dans l'adaptation d'une ville à la chaleur. Il faudrait que l'albédo soit renseigné dans les permis d'aménager : en somme, qu'il soit presque cadastré. Les recherches autour de l'albédo des sols, des cultures, des espaces naturels dans le cadre agricole doivent être approfondies.

Si on caricature, il faudrait donc repeindre en blanc tous les toits du monde...

Je ne voudrais pas être l'Eddie Barclay [éditeur et producteur de musique français, connu pour ses « Nuits blanches » à Saint-Tropez, NdIR] de l'architecture et de l'urbanisme. Ordonner de tout peindre en blanc, c'est peut-être un peu caricatural. Nous battons depuis quelques semaines des records absolus de température. Dans un contexte climatique qui doit répondre aux défis de l'atténuation carbone, de la sortie

des énergies fossiles, de la sobriété énergétique, il faut maximiser les apports solaires dans notre conception de l'architecture.

Il faut également prendre en compte le concept d'émissivité dans la question de réémission de l'énergie solaire. L'émissivité, c'est la façon dont un matériau communique sa propre température. Par exemple, les tapisseries sur les murs des châteaux permettent de masquer la forte émissivité de la pierre, qui communique sa chaleur ou sa froideur. Albédo et émissivité sont deux concepts qui doivent marcher main dans la main pour maximiser la maîtrise des énergies solaires et le contrôle des températures.

L'albédo est-il pris en compte dans les politiques écologiques urbaines ?

L'albédo est mentionné dans le rapport du Giec du 28 février 2022. L'un des chapitres du rapport parlait des surfaces à fort albédo comme une des solutions pour s'adapter au réchauffement de la planète. Pour autant, s'il a sa place, du moins théoriquement, dans les politiques urbaines actuelles, la traduction quantitative de l'effet d'albédo dans les actions concrètement mises en place est très faible ! L'albédo est peu connu des législateurs et des politiques.

L'écologiste Yannick Jadot, candidat à l'élection présidentielle de 2022, interrogé par la revue *L'Architecture d'aujourd'hui* en décembre 2021, ne le mentionnait pas dans ses propositions d'adaptation des villes françaises au réchauffement climatique. Il faudrait mettre en place des plans régionaux d'albédo avec suivi annuel, et interpeller davantage les acteurs qui interviennent dans la mise en œuvre concrète des plans climats.

Le B.A-BA dans ces politiques reste la multiplication des arbres en ville, qui sont les meilleurs des climatiseurs. En outre, multiplier les arbres, c'est limiter l'artificialisation des sols, c'est aussi limiter la prolifération des surfaces sombres comme l'asphalte, à albédo faible, qui se réchauffent beaucoup plus rapidement.

Dans votre étude *L'Adaptation esthétique*, publiée en juillet 2022, vous qualifiez l'empire de l'automobile dans lequel nous vivons de « surgénérateur du réchauffement » climatique. Doit-on également appliquer cette politique d'albédo à nos véhicules ?

Et même plus encore ! Concernant les transports, pourquoi l'Europe et la France n'instaureraient pas une législation qui viserait à mettre un toit blanc sur tous les véhicules neufs ? Les contrôles techniques pourraient également être l'occasion de modifier la colorimétrie des voitures. En France, l'effet d'un éclaircissement global pourrait représenter une économie de 500 millions de litres d'essence par an, soit environ un milliard d'euros de gain de pouvoir d'achat. C'est l'équivalent d'un million de tonnes de CO₂, soit près d'1 % des émissions du transport routier. Au bout du compte, maximiser l'effet d'albédo sur le marché des voitures représente des économies d'argent, d'énergie, de rejets d'émissions de CO₂ et de polluants...

Les voiries doivent également être intégrées à ces réflexions. Ces axes de circulation de couleur sombre participent à l'artificialisation des sols, en plus d'avoir un albédo très faible. Un plan global d'éclaircissement des voiries doit être élaboré. Athènes a déjà mesuré une diminution de quatre degrés de la température en journée, en remplaçant son revêtement foncé d'asphalte par un revêtement blanc. L'impact est majeur, nous sentons la différence ! En France, nous ne sommes pas à la page en termes de transition écologique.

En clair, l'albédo est un levier essentiel de la lutte contre le réchauffement climatique...

La lutte contre le réchauffement climatique se fonde sur deux piliers : l'atténuation et l'adaptation. Le premier est relatif à l'ensemble des stratégies qui permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le deuxième se rapporte aux stratégies mises en place pour être plus résilient, face à un climat qui a déjà changé, dont on ne connaît pas les évolutions futures. L'albédo se rapporte surtout à ce deuxième volet. Concrètement, il faut une adaptation esthétique de notre monde à l'urgence climatique. Il existe des solutions pour un monde « plus clair » qui s'adapte aux effets de ce réchauffement !

Limiter le bruit et la chaleur avec des nouveaux revêtements routiers en test à Paris

Le projet LIFE Cool & Low Noise Asphalt est une expérimentation qui permet de tester trois formules d'enrobés et d'asphaltes phoniques et thermiques permettant d'améliorer le confort des usagers. Ces enrobés innovants et résistants sont aussi pensés pour ne pas coûter plus cher à la collectivité, puisqu'ils ont un surcoût de production inférieur à 10 %.

ENJEUX D'ADAPTATION

Isolation phonique du sol et diminution de l'effet d'îlot de chaleur urbain

Le but est d'améliorer le bien-être des habitant·es en diminuant la pollution sonore et les effets des fortes chaleurs consécutives au changement climatique (îlots de chaleur urbain).

POINTS FORTS

Amélioration du bien-être des habitant·es

- Premier projet européen qui explore des solutions intégrées de produits bitumineux ayant des performances à la fois de réduction du bruit et de la chaleur
- Performance économique (maîtrise du surcoût)
- Amélioration du confort thermique des usager·ères et des riverain·es
- Réduction de la pollution sonore, notamment nocturne

DESCRIPTION DE LA SOLUTION

Un revêtement routier anti-bruit et anti-chaleur

Domaine d'application : **Espace public, Mobilité, Zones 50, Zones 30**

Le projet porté par la Ville de Paris vise à déployer 3 formules de revêtement routier innovantes qui présentent des propriétés phoniques et thermiques supérieures à celles des bétons bitumineux classiques.

Ce sont deux entreprises, EUROVIA et COLAS, qui ont développé ces formules. Parmi les trois, deux sont des bétons bitumineux et la troisième est un asphalte coulé à chaud.

Toutes les formules doivent aussi garantir des propriétés mécaniques conformes à l'usage attendu.

Les trois formules ont les points communs suivants :

- Des granulats plus clairs pour augmenter le pouvoir réfléchissant du revêtement. L'aspect clair des revêtements est obtenu avec le départ du film de bitume sur les granulats sous l'effet du trafic routier et des rayons ultra-violet. Pour la formule du PUMA, un grenailage a été réalisé afin de faire ressortir la couleur des granulats dès le début de l'expérimentation.
- Une des trois formules (PUMA) comporte des granulats poreux, les deux autres ont une porosité liée à l'arrangement des granulats. Cette structure poreuse contribue à retenir l'eau et favorise son

évaporation, et a été pensée afin de réduire la température de l'air et le ressenti thermique du piéton en période de canicule. Cela permet aussi de piéger les bruits de roulement et ainsi de réduire les nuisances sonores.

EXPÉRIMENTATION DE LA SOLUTION

Le projet a commencé en juillet 2017 et se déroulera jusqu'en juin 2023. Les évaluations vont quant à elles se poursuivre jusqu'en 2027. La pose des revêtements expérimentaux a été réalisée en septembre et octobre 2018 sur trois sites pilotes parisiens : rue de Courcelles dans le 8^e arrondissement, rue Frémicourt et rue Lecourbe dans le 15^e. Les sites ont été choisis pour les critères suivants : une forte densité de population, un niveau sonore supérieur à 68 dB(A) pour l'indicateur Lden, une exposition au soleil importante et l'absence de végétation, une vitesse de circulation jusqu'à 50 km/h. Sur chaque rue ont été posés 200 m de revêtement innovant et 200 m de revêtement de référence (traditionnel neuf), pour permettre de comparer les revêtements innovants avec le produit de référence.

Des campagnes d'arrosage à l'eau non potable des chaussées sont effectuées pendant la période estivale. Elles sont déclenchées lors des journées de canicule ou vague de chaleur, c'est-à-dire lorsque certaines conditions de température, d'absence de vent et de couverture nuageuse sont remplies.

CO-BÉNÉFICES

Co-bénéfices environnementaux :

- Santé & environnement
- Éco-conception

Co-bénéfices autres :

La réduction du bruit et la baisse de la température pendant les épisodes de fortes chaleur ont un impact en matière sanitaire, notamment en termes de gêne et de perturbations du sommeil. Une évaluation des effets positifs sur le plan sanitaire est prévue dans le cadre du projet.

COMPLEXITÉ ET CONTEXTE DE MISE EN OEUVRE

Les matériaux innovants testés sont en fait produits à partir des technologies connues et existantes, avec des produits déjà disponibles sur le marché. Leur mise en œuvre est donc comparable aux revêtements existants. Non seulement ils combattent la pollution sonore et les îlots de chaleur, mais ils assurent également la durabilité mécanique attendue.

Les formules conçues par les équipes sont disponibles et répliquables. La Ville de Paris a désormais adopté ces revêtements comme la référence de base pour tous les travaux de revêtement de voirie intramuros. Ces solutions sont facilement répliquables dans d'autres villes françaises ou européennes pour des situations similaires.

COÛTS

Une solution innovante à un prix contrôlé

Le surcoût final de production prévu par rapport aux revêtements classiques est inférieur à 10 %. Ce projet de recherche coûte 2,3 millions d'€, dont 1,3 millions sont issus du programme de financement européen LIFE.

Réduction phonique grâce au revêtement

Les résultats montrent une diminution sensible des niveaux sonores sur la période nocturne, lorsque la circulation correspond aux passages de véhicules isolés avec une vitesse de circulation plus élevée et que les autres sources de bruit en présence sont réduites (travaux, activité humaine, etc.). Une enquête de perception auprès des usager·ères et riverain·es des sites pilotes a permis de compléter cette analyse. Ainsi, rue Frémicourt, depuis le changement du revêtement de chaussée au dernier trimestre 2018, 63 % des personnes interrogées ont noté une diminution du bruit routier. Parmi elles, 67 % jugent cette réduction moyenne ou importante et 82 % attribuent cette réduction au bruit de roulement.

Propriétés thermiques du revêtement

La méthodologie repose sur une analyse microclimatique basée sur deux indicateurs : la température de l'air et l'UTCI (Indicateur Universel du Climat Urbain). L'UTCI est un indicateur de stress thermique. Le but est de suivre l'évolution des performances thermiques et microclimatiques des produits, et d'appréhender les impacts du rafraîchissement par arrosage à l'eau non potable.

A ce stade des analyses, seul l'impact de l'arrosage a été étudié. Les résultats montrent qu'il permet de réduire l'indice de climat universel en moyenne de 1°C et jusqu'à 3,6°C max, selon le site (analyse microclimatique). L'arrosage joue ainsi favorablement sur la capacité du matériau à emmagasiner plus ou moins la chaleur (analyse thermique).

A ce stade de l'expérimentation, l'éclaircissement des revêtements sous l'effet de la circulation et des conditions climatiques n'était pas encore assez avancé lors des mesures pour qualifier l'impact de l'augmentation d'albédo sur la température ambiante.

Quel est le meilleur revêtement pour limiter la formation des îlots de chaleur urbains ? (extrait)

Martin HENDEL^{1,2,3*}, Arnaud GRADOS³, Morgane COLOMBERT², Youssef DIAB², Laurent ROYON³

¹Mairie de Paris, Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement, F-75014, Paris, France

²Université Paris-Est, Lab'Urba, EA 3482, EIVP, F-75019, Paris, France

³Univ Paris Diderot, Paris Sorbonne Cité, MSC, UMR 7057, CNRS, F-75013, Paris, France

* (auteur correspondant : martin.hendel@paris.fr)

Résumé - Les matériaux utilisés en milieu urbain ont un fort impact sur le climat urbain et par conséquent sur le confort thermique du piéton. Selon leurs propriétés thermiques, ils peuvent contribuer au développement d'îlots de chaleur urbains. Pour diminuer leur effet, différentes stratégies sont étudiées, comme la végétalisation ou l'arrosage de l'espace urbain.

Notre étude s'inscrit dans ce cadre et propose d'analyser le comportement thermo-climatique de revêtements urbains dans des conditions similaires à une canicule. La sollicitation climatique est découpée en une période diurne de 8h, avec une température de l'air de 35°C, 35% d'humidité et un ensoleillement artificiel, et une période nocturne de 16h à 25°C, 70% d'humidité et sans ensoleillement.

Les échantillons se présentent sous la forme d'éprouvettes cylindriques de 16 cm de diamètre pour 32 cm de hauteur, entourées d'une couche isolante de 5 cm (Figure 1). La température de surface de chaque échantillon est suivie par un thermocouple de type K. Un indicateur de l'échauffement atmosphérique par les échantillons est proposé pour les caractériser.

Des essais menés sur trois cycles consécutifs de 24h ont permis de classer les structures par leur contribution à l'échauffement atmosphérique. Les structures noires sont les plus chaudes, suivies des structures claires et du gazon, largement plus frais que les autres revêtements. Enfin, la succession des cycles expérimentaux sur trois jours ont permis d'identifier le gazon et les trottoirs comme les structures qui manifestent le plus d'effets cumulatifs. Le trottoir asphalté devient ainsi la structure la plus chaude au troisième jour.

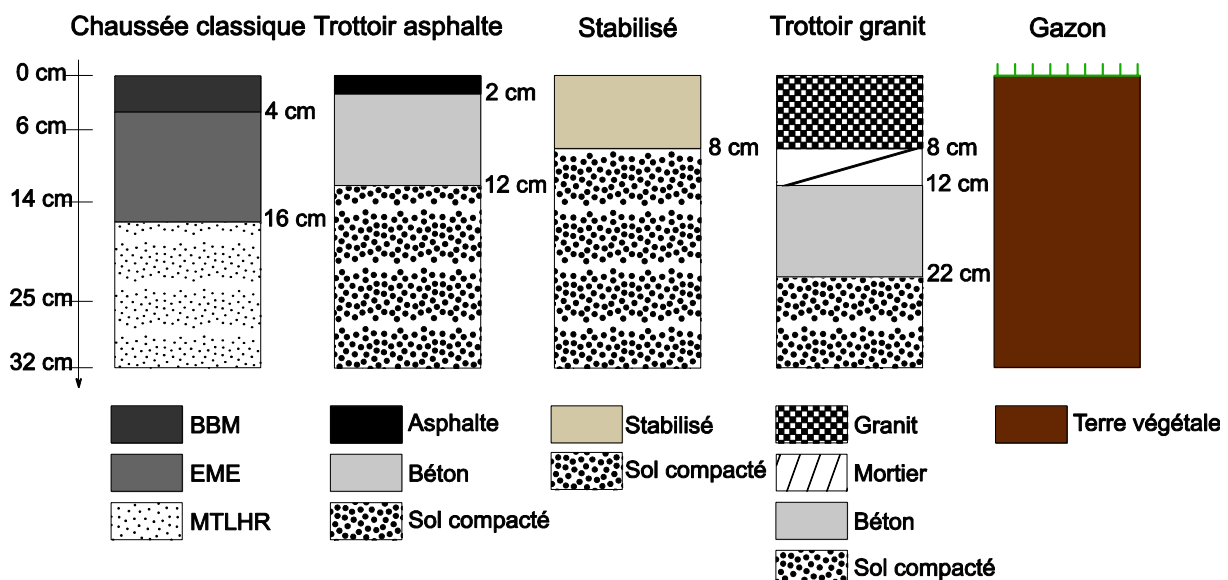


Figure 1 : Structure des échantillons étudiés

Nomenclature

<i>BBM</i>	béton bitumineux mince	<i>GLO</i>	grande longueur d'onde (3-100 μm)
<i>CLO</i>	courte longueur d'onde (0,3-3 μm)	<i>GLO</i>	grande longueur d'onde (3-100 μm)
<i>EME</i>	enrobé à module élevé	<i>MTLHR</i>	matériaux traités au liant hydraulique

1. Introduction

Les matériaux utilisés en milieu urbain ont un fort impact sur le climat urbain et par conséquent sur le confort thermique du piéton [1]. Selon leurs propriétés thermiques, ils peuvent contribuer plus ou moins fortement au développement d'îlots de chaleur urbains [2]. Pour diminuer leur effet, différentes stratégies sont étudiées, comme l'arrosage ou la végétalisation de l'espace urbain [3], [4]. Ces moyens d'adaptation sont particulièrement importants pour limiter l'impact sanitaire des canicules en ville [5].

Pour autant, les travaux existants sur le comportement des revêtements se focalisent sur les couches de surface, sans tenir compte de la superposition de plusieurs couches de matériaux différents [6]–[8]. Afin d'éclairer leurs choix de revêtements, les décideurs ont donc besoin de s'appuyer sur l'analyse du comportement des structures réellement mises en œuvre.

Notre étude s'inscrit dans ce cadre et propose de caractériser le comportement thermo-climatique de revêtements urbains dans des conditions similaires à une canicule. Pour cela, cinq structures de la voirie parisienne sont soumises à une même sollicitation climatique.

2. Matériels et méthodes

2.1. Structures étudiées

Cinq structures ont été retenues pour l'analyse, à savoir une chaussée classique, un trottoir asphalté, un sable stabilisé, un trottoir granit et un gazon. Ces structures sont couramment employées à Paris dans les rues, parcs et jardins de la capitale. La chaussée classique et le trottoir asphalté sont des revêtements minéraux noirs, le stabilisé et le trottoir granit sont des revêtements minéraux clairs tandis que le gazon est le seul revêtement végétal.

Le Tableau 1 présente les valeurs d'albédo et d'émissivité de chacune de ces structures. Seules les valeurs d'émissivité ont été mesurées, celles d'albédo étant tirées de la littérature.

	Chaussée classique	Trottoir asphalté	Stabilisé	Trottoir granit	Gazon
Albédo	0,05-0,12	0,05-0,12	0,3-0,5	0,3-0,4	0,25
Emissivité	0,98	0,98	0,92	0,99	0,98

Tableau 1 : *Propriétés radiatives des échantillons*

Les échantillons se présentent sous la forme d'éprouvettes cylindriques de 16 cm de diamètre pour 32 cm de hauteur, entourées d'une couche isolante de 5 cm composée de mousse polyuréthane expansée. La température de surface de chacun des échantillons est suivie à l'aide d'un thermocouple de type K. Leur composition est illustrée à la Figure 1.

2.2. Protocole expérimental

Placé dans une enceinte climatique sous température et humidité contrôlées, l'échantillon est soumis à une sollicitation climatique cyclique d'une période de 24h pendant 72h. La sollicitation est découpée en une période diurne de 8h, avec une température de l'air de 35°C, 35% d'humidité, et une période nocturne de 16h à 25°C, 70% d'humidité.

Entre les essais, chaque échantillon est entreposé à une température de 20°C. Afin de s'assurer de son équilibre avant le lancement de l'essai, celui-ci est installé au moins 24h avant dans l'enceinte réglée en mode nuit. Le gazon est prélevé dans un parc dans les 10 jours précédents l'essai et est abondamment arrosé en attendant son installation dans l'enceinte climatique.

L'ensoleillement artificiel est assuré par 7 ampoules halogènes dichroïques de température de couleur 5 600 K. Bien que ne reproduisant pas parfaitement le spectre solaire, ce dispositif est adapté pour des matériaux à réponse radiative uniforme entre 0,3 et 3 μm . En revanche, ce dispositif ne permettrait pas de reproduire fidèlement le comportement de revêtements réfléchissants dans le proche infrarouge comme il en existe pour les toitures [9].

Le Tableau 2 résume les caractéristiques du cycle climatique et la Figure 2 illustre la fiabilité réelle de l'enceinte mesurée par un thermo-hygromètre placé dans l'enceinte.

	Jour	Nuit
Durée	8h	16h
Température de l'air	35°C	25°C
Humidité relative	35%	70%
Rayonnement CLO (0,3-3 μm)	1 320 W/m ²	0
Rayonnement GLO (3-100 μm)	230 W/m ²	430 W/m ²

Tableau 2 : Découpage et paramètres de la sollicitation climatique

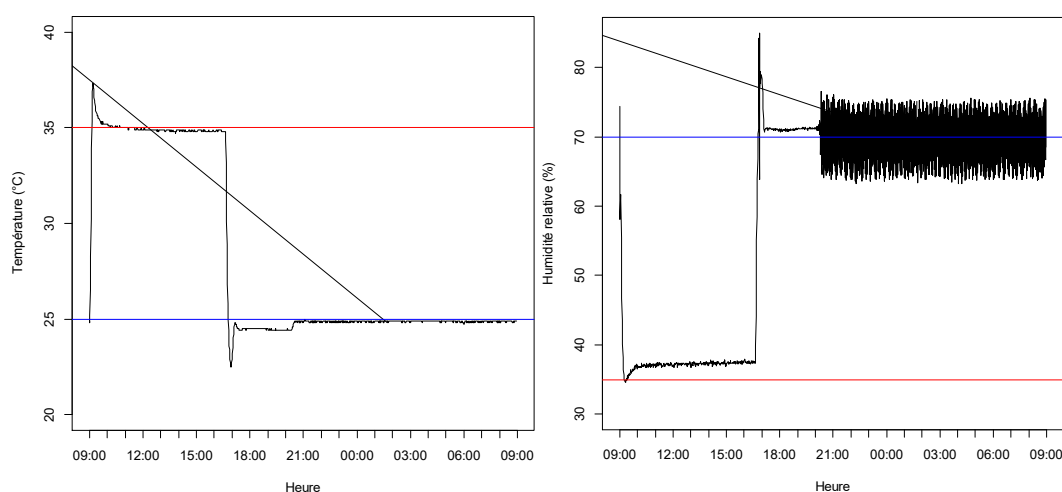


Figure 2 : Profil de la température (gauche) et de l'humidité relative (droite) dans l'enceinte climatique. Les droites rouge et bleue indiquent les consignes jour et nuit, respectivement.

2.3. Indicateur de l'échauffement atmosphérique provoqué par les structures étudiées

Les revêtements urbains sont susceptibles d'aggraver les effets des canicules lorsque ceux-ci contribuent à augmenter la température atmosphérique, c'est-à-dire lorsqu'ils sont plus chauds que l'air ambiant. Pour comparer les contributions diurnes et nocturnes des structures, on suppose un coefficient de convection identique pour tous les échantillons et on s'intéresse à l'aire entre la courbe de température de surface et la température de consigne pendant chaque phase. Par analogie avec le domaine du bâtiment et l'unité « degré-jour », utilisée pour quantifier un besoin de chauffage ou de rafraîchissement, on utilisera l'unité « degré-heure » pour quantifier la contribution atmosphérique des structures étudiées. Ainsi construit, 1°C.h correspond à une heure pendant laquelle la surface est un degré plus chaude que l'air.

Ayant supposé que le coefficient de convection est le même pour toutes les structures, cet indicateur est homogène à une énergie transférée à l'air par unité de surface de revêtement.

3. Résultats et discussion

Dans l'analyse des données observées, on se focalisera dans un premier temps sur les données obtenues à J, puis dans un second temps aux observations de J à J+2.

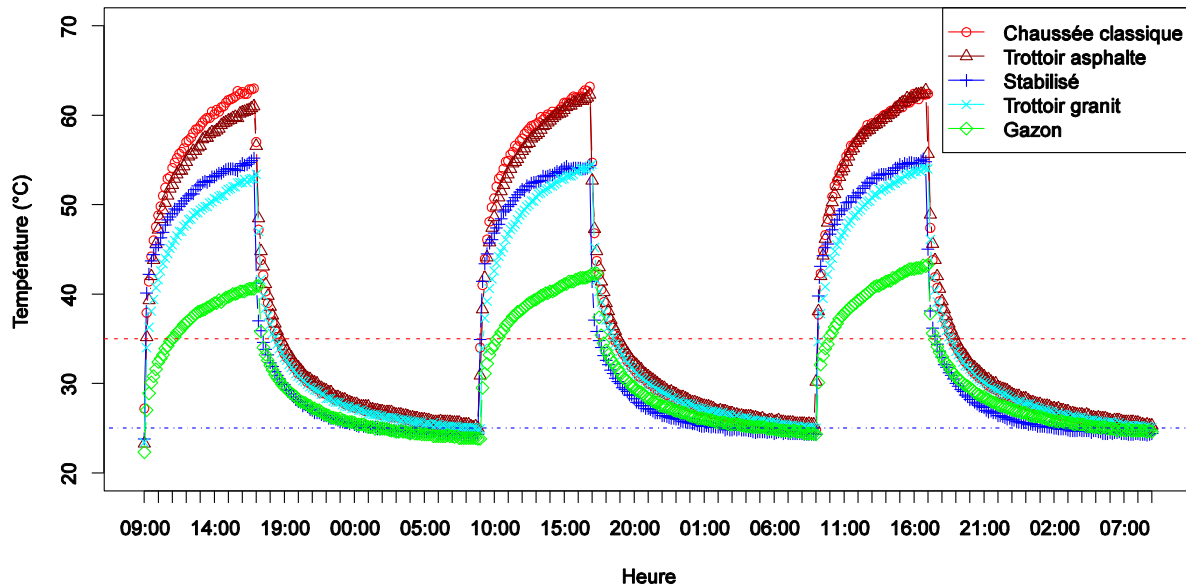


Figure 3 : Evolution des températures de surface sur 72h

La Figure 3 représente l'évolution des températures de surface de tous les échantillons étudiés pendant trois journées consécutives. Les lignes horizontales bleue (pointillés-tirés) et rouge (tirets) indiquent les températures de consigne nocturne et diurne, respectivement.

3.1. Observations au bout du premier jour de sollicitation (J)

On remarque tout d'abord qu'en début d'expérimentation les températures de surfaces sont en dessous de la consigne nocturne, c'est-à-dire que les échantillons sont plus froids que l'air ambiant. Cela se répète pour certains échantillons en fin de cycle également. Ceci est expliqué par le faible rayonnement ambiant présent au sein de l'enceinte climatique, dû à ses parois métalliques lisses à basse émissivité. La température de surface stabilisée pendant la période nocturne est de 23,5°C environ pour tous les échantillons.

Quelle que soit la structure envisagée, les températures croissent très fortement dès que l'ensoleillement est enclenché et dépassent la consigne de 35°C dès les premières minutes d'ensoleillement, sauf pour le gazon qui met deux heures à franchir ce seuil.

Après une première phase de croissance exponentielle qui dure entre deux et trois heures selon la structure, la température croît de manière quasi-linéaire jusqu'à l'arrêt de l'ensoleillement.

Pendant la phase diurne, deux catégories de structures se distinguent selon l'évolution de leur température de surface : les matériaux « chauds », dont la température dépasse 60°C, et les matériaux « frais » qui restent en deçà de ce seuil. Les structures « noires », c'est-à-dire la chaussée et le trottoir asphalte appartiennent à la première catégorie, tandis que le stabilisé, le

trottoir granit et le gazon appartiennent à la deuxième. Le gazon, plus de 10°C plus frais que les deux autres structures, pourrait constituer sa propre catégorie de matériaux « très frais ».

Intervenant au bout de 8h d'ensoleillement, l'arrêt de la lampe provoque une chute exponentielle des températures qui tendent ensuite vers la température initiale. On remarque qu'aucune des structures ne retrouve l'état d'équilibre initial, le différentiel le plus élevé étant de 2,5°C environ pour le trottoir asphalte. Ainsi, toutes les structures terminent le cycle avec un surplus d'énergie par rapport à la situation de départ.

Dès la première heure après extinction de la lampe, les structures se regroupent en deux groupes, avec d'une part le stabilisé et le gazon qui sont les plus fraîches, et d'autre part les structures restantes, significativement plus chaudes. Le granit, pourtant classé en tant que matériau frais en journée, rejoint le niveau de température des structures noires pendant la nuit.

Par ailleurs, on remarque que la chaussée, qui était pourtant la structure la plus chaude en journée, est plus fraîche que le trottoir asphalte au bout de quelques minutes suivant l'arrêt de l'ensoleillement.

La Figure 4 exprime la contribution à l'échauffement atmosphérique pendant le premier jour de chacune des structures étudiées en « degré-heure ». Les contributions diurnes sont indiquées en rouge tandis que les contributions nocturnes sont en bleu.

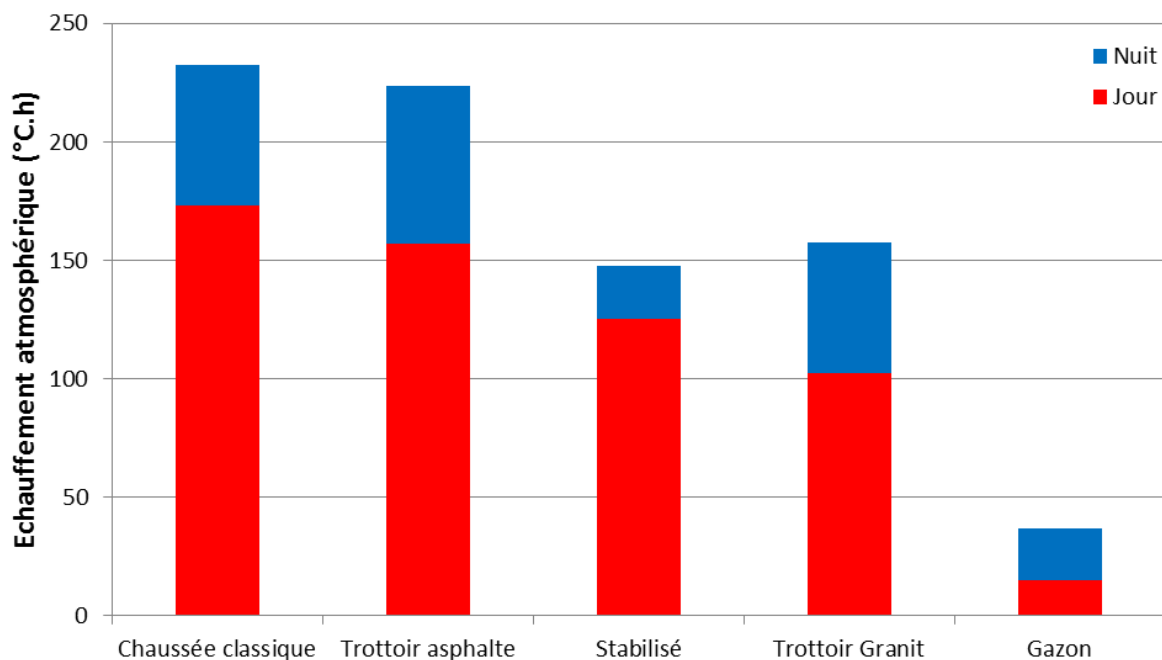


Figure 4 : Contribution à l'échauffement atmosphérique à J

Pour tous les échantillons, l'échauffement diurne est le plus important, sauf pour le gazon. Pour autant, les contributions nocturnes ne sont pas négligeables et sont déterminantes pour classer les échantillons par leur contribution atmosphérique. Les regroupements effectués à partir des températures de surface se retrouvent, avec les structures noires étant les plus chaudes, le gazon étant la structure la plus fraîche et les structures claires se situant à un niveau intermédiaire. C'est donc le gazon qui contribue le moins à échauffer l'air ambiant, alors que les matériaux noirs ont la contribution la plus importante, suivis par les matériaux clairs.

3.2. Effets cumulatifs de J à J+2

Au bout de trois journées consécutives, les structures manifestent des signes d'accumulation de chaleur. Si le comportement de la chaussée classique et du stabilisé n'est que très peu modifié à J+1 et J+2 par rapport à J, ce n'est pas le cas du trottoir asphalte, du trottoir granit ou du gazon. Ces trois structures voient effectivement leur température de surface augmenter avec l'enchaînement des cycles climatiques, comme le montre l'évolution des températures maximales résumée au Tableau 3.

Structure	Tmax à J °C	Tmax à J+1 °C	Tmax à J+2 °C
Chaussée classique	63,3	63,2	62,7
Stabilisé	55,2	54,6	55,1
Trottoir asphalte	61,2	62,3	62,9
Trottoir granit	53,6	54,6	54,3
Gazon	40,9	42,3	43,4

Tableau 3 : Température de surface maximale atteinte à J, J+1 et J+2.

Les observations nocturnes réalisées à J ne sont pas significativement modifiées à J+2. La température du gazon est celle qui augmente le plus, se distinguant nettement de la température du stabilisé par rapport à ce qui était observé à J.

La Figure 5 résume la contribution atmosphérique diurne et nocturne des structures à J+2. Toutes les contributions observées à J+2 sont augmentées par rapport à J. Conformément à ce qui avait été indiqué à partir des courbes de température de surface, la chaussée classique et le stabilisé sont les structures les moins affectées avec moins de 5% d'augmentation, tandis que la contribution du gazon est presque doublée, même si elle reste faible. Les contributions des trottoirs asphalte et granit augmentent de 10% environ. Ceci vaut au trottoir asphalte de détrôner la chaussée classique comme revêtement échauffant le plus l'atmosphère.

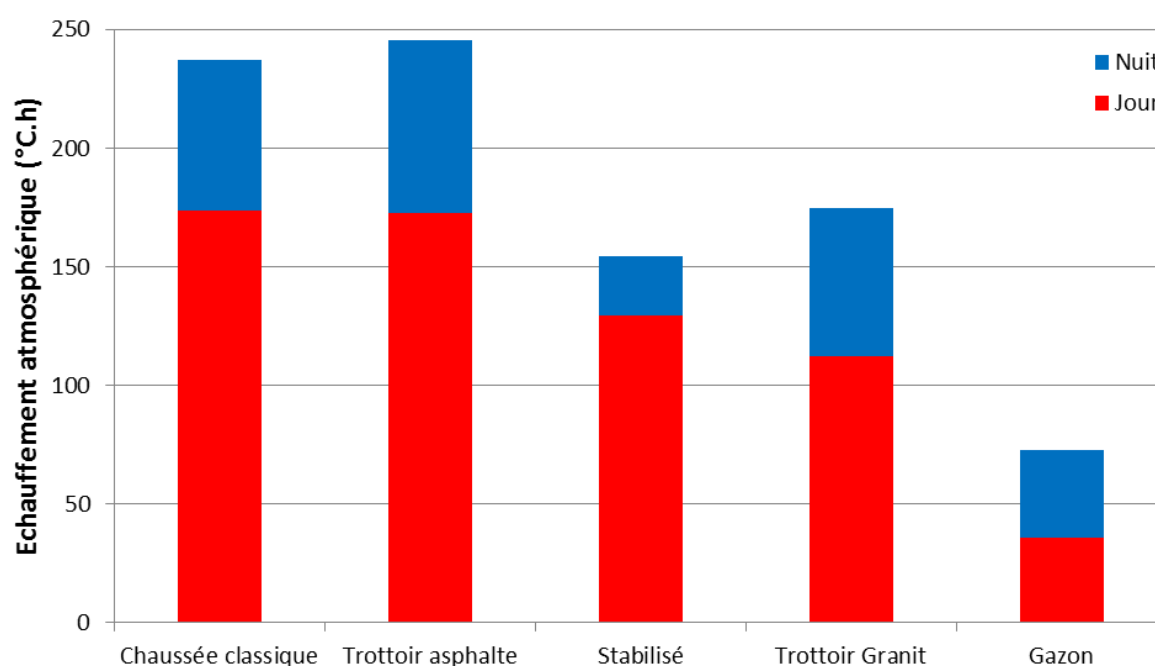


Figure 5 : Contribution à l'échauffement atmosphérique à J+2

Le gazon est donc le plus concerné par les effets cumulatifs provoqués par l'enchaînement de plusieurs « journées caniculaires », suivi du trottoir granit et du trottoir asphalte.

3.3. Discussion

Le classement des revêtements sur la base des températures obtenues à J correspond bien à ce qui est attendu à partir de leur albédo. En effet, les matériaux noirs, à faible albédo, sont les plus chauds, tandis que les matériaux plus clairs sont plus frais.

Pour autant, l'albédo ne suffit pas pour expliquer toutes les observations. En effet, le gazon, pourtant plus sombre que les matériaux clairs, est de loin le plus frais des revêtements. Cela est attribuable au rafraîchissement fourni par l'évapotranspiration de l'eau qu'il contient. Le rôle rafraîchissant des végétaux est signalé dans de nombreux travaux, mais ils soulignent souvent la condition de l'approvisionnement en eau [10]. Lors de nos essais, le gazon est resté largement alimenté en eau, lui permettant de rester très frais tout au long de l'expérience.

Par ailleurs, l'albédo ne permet pas d'expliquer l'évolution des températures d'un cycle climatique à un autre. En effet, alors que pour un état initial donné, le trottoir asphalte est plus frais que la chaussée, il devient la structure la plus chaude le 3^e jour. Ceci est dû aux matériaux sous-jacents, notamment à ses 10 cm de béton qui accumulent de la chaleur au fil des jours, avec un impact observable sur sa température de surface. Le même phénomène est à l'œuvre pour le trottoir granit. Le gazon voit sa température augmenter de 2°C entre le premier et le dernier jour. Cela est attribué à l'inertie de la terre mouillée.

Enfin, les températures de surface maximales atteintes à J sont cohérentes avec celles observées à l'occasion des travaux similaires [6], [7]. En effet, des températures maximales comprises entre 40°C pour le gazon et 65°C pour l'enrobé bitumineux y sont observées. Ces températures sont atteintes en extérieur sur des sites sans masque pour des conditions météorologiques semblables à celles de l'enceinte climatique. Les températures observées par Ueno et Tamaoki [8], bien plus faibles que les nôtres, ne sont pas comparables étant donné que leurs sollicitations climatiques ont une durée de quelques minutes seulement. On en déduit que le protocole expérimental utilisé ici permet de reproduire les températures maximales atteintes en extérieur pour un site sans obstruction en journée chaude d'été.

4. Conclusion

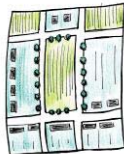
Cinq échantillons de structures couramment employés sur l'espace public parisien ont été soumis à des conditions caniculaires pendant trois journées consécutives. Nos observations ont permis de classer ces structures les unes par rapport aux autres en fonction de leur contribution à l'échauffement atmosphérique. Ainsi, les structures noires, à savoir la chaussée classique et le trottoir asphalte, y contribuent le plus, suivies des structures claires, à savoir le trottoir granit et le stabilisé, tandis que la structure gazon a la contribution la plus faible.

Si l'albédo des matériaux de surface joue un rôle déterminant dans les comportements observés, on a pu constater l'importance des couches sous-jacentes, notamment pour les effets cumulatifs. En effet, les matériaux sous-jacents stockent également une grande partie de l'énergie solaire accumulée et influence la température de surface des jours suivants. Les phénomènes cumulatifs affectent principalement les structures contenant une couche de béton ou de granit, faiblement poreuses. Le gazon montre également des phénomènes d'accumulation importants relativement à son faible échauffement de l'atmosphère. On retiendra également le rôle primordial de l'eau pour assurer les bonnes performances des surfaces végétalisées comme le gazon.

L'étude des températures et des flux de chaleur à différentes profondeurs permettra d'étudier plus précisément le rôle des différentes couches constitutives des structures étudiées ainsi que d'identifier le rôle de certaines de leurs propriétés thermiques.

(...)

(...) C VEGETALISATION ET FRAICHEUR DES ESPACES URBAINS



Le quartier et la rue

2 AIRES DE RAFRAICHISSEMENT ET MAILS PLANTES

■ Développer l'accès à des aires de rafraîchissement

Le rafraîchissement de l'espace urbain passe à l'échelle de chaque quartier par la création de diverses aires de rafraîchissement : aires de repos ombragées, installation d'étendues d'eau (bassins, fontaines, jets d'eau ou brumisateurs).

La végétation a un rôle important à jouer : elle participe à la protection solaire. Elle apporte un ombrage et crée un microclimat par évapotranspiration. Le choix des espèces est important car la qualité de l'ombre d'un arbre dépend de sa densité (Voir figure ci-contre). Ainsi, le feuillage d'un arbre peut filtrer de 60 à 90% du rayonnement solaire. Un tapis de végétation réduit également le rayonnement solaire réfléchi par le sol. Quel que soit le projet de verdissement, le choix de la verdure pour remplacer de l'asphalte ou du béton sera toujours plus bénéfique pour le rafraîchissement de l'espace.

■ Assurer la pérennité et la croissance des essences plantées

Pour que les arbres puissent fournir de la fraîcheur, leur bonne croissance est essentielle. Un développement en pleine terre ou en aménagements cellulaires adaptés est dans un premier temps à privilégier. Un arbre occupant un espace restreint dans le sol n'atteindra pas sa taille maximale et sa durée de vie en sera écourtée. Le choix d'espèces indigènes, tolérantes aux variations climatiques de la région parisienne et la pollution urbaine est aussi un paramètre primordial. L'application de ces recommandations permettra de pérenniser les aires de rafraîchissement qui viendront ponctuer la ville.

■ Végétaliser les aires de stationnements

Les stationnements, construits généralement avec du bitume, un matériau à faible *albédo* (Voir E.), contribuent au stockage de chaleur. La végétalisation d'une partie des aires de stationnement est une alternative à l'imperméabilisation pour réduire cet effet et participer au rafraîchissement du quartier. Ils représentent en effet un potentiel surfacique important. Cette mesure passe par :

- La végétalisation des pourtours des places de stationnements (bandes végétalisées, plantation d'arbres...)
- Le choix de revêtements semi-végétalisés pour les emplacements de stationnement (modules alvéolaires...)

Cela permet ainsi d'augmenter les surfaces d'évapotranspiration et de lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain. La qualité de l'air en est aussi améliorée (Voir A.). La question de l'entretien de ces espaces ne devra néanmoins pas être éludée afin de pérenniser leur action dans le temps.

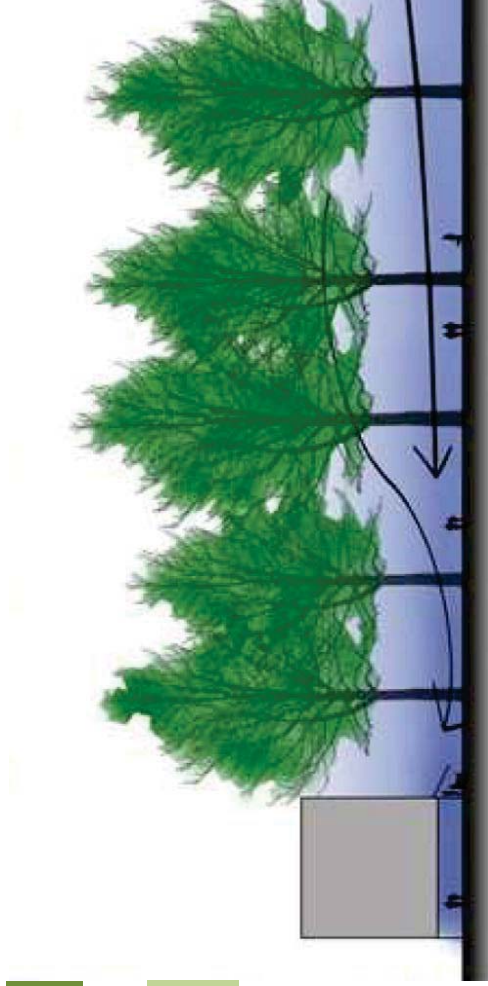
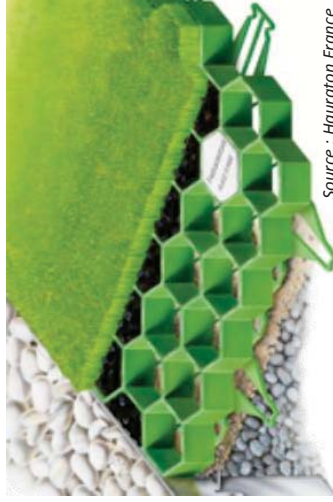


Illustration des aires de rafraîchissement issue de balades urbaines - Source : Lo Giudice, 2008



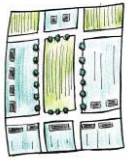
Source : Hauraton France



Source : Ecovegétal

	ombre	évapo- transpiration (biomasse)
grand arbre (20 à 30 m)	+++	+++++
grand conifère (20 à 30 m)	++	++++
arbrisseau (5 à 10 m)	++	++++
petit conifère (5 à 7 m))	+	+++
arbruste (1 à 5 m)	+	+++
couvre-sol (0,1 à 2 m) (graminées, vivaces, prairies)	O	++
gazon	O	+

Source : Guide sur le verdissement



Le quartier et la rue

2 RA Fraîchissement

■ Aires de rafraîchissement

L'accès et la proximité à des aires de rafraîchissement sont essentiels au sein des espaces publics. On distingue les aires aquatiques, les bassins, les brumisateurs ou plus récemment les miroirs d'eau (illustration ci-contre) qui permettent aux habitants de se rafraîchir. En privilégiant les procédés pulvérisateurs ou brumisateur, on augmente de même l'évapotranspiration en maximisant la surface de contact air-eau, et ainsi, on accentue le rafraîchissement de l'air ambiant.

A noter que l'efficacité de l'évaporation provoquée (brumisation, arrosage) est plus importante que par évaporation naturelle, mais bien plus grande consommatrice d'eau. On peut en minimiser la consommation en utilisant de l'eau de pluie, ressource « gratuite » peu exploitée.

■ Arrosage des surfaces imperméables sur l'espace public

L'arrosage des surfaces imperméables, de préférence avec de l'eau non potable, est un moyen efficace pour réduire la température de surfaces minéralisées, perméables ou non. Les bouches de lavage, présentes notamment à Paris, peuvent servir à ce nouvel usage afin de rafraîchir les voiries du quartier.

Une expérience au Japon a montré que la consommation d'eau pour le rafraîchissement de l'espace public n'excède pas $2\text{L}/\text{m}^2/\text{h}$ pendant 4 h pour un rafraîchissement de l'ordre de 2 à 4°C .



Source : Paris.fr

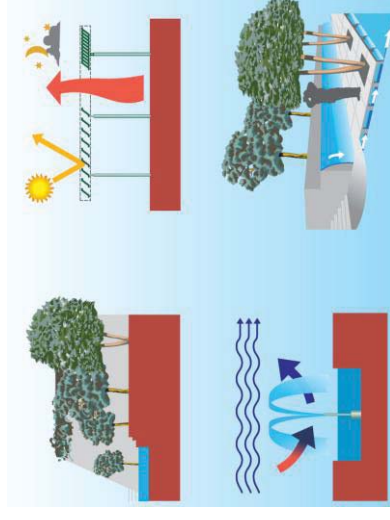


Base de loisir à Cergy-Pontoise (Source : Bords-de-Seine.com)



Jets d'eau sur la place Rapp à Colmar

Source : Ruch MP/AUDAL



Techniques utilisées à Séville en 1992 (arch. J.L de Asiaín) [Source : *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*]



Brumisateurs naturels (Source : La Giudice, Marquet, 2008)

RETOURS D'EXPERIENCE

1. Balades thermiques à Grenoble

« Balade thermique ? Sensations garanties ! » (Lo Giudice, 2008) est un travail d'étude mené sur Grenoble avec l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble et le Cresson (centre de recherche sur l'espace sonore et l'environnement urbain). Développée afin d'étudier les chaleurs urbaines à l'intérieur de la ville, l'étude a proposé un parcours thermique à travers différents lieux démonstratifs de plusieurs phénomènes. Il passe dans des endroits différents par leurs morphologies, leurs aménagements ou leurs usages et s'effectue à pied et en tram sur une durée de 1h – 1h30. La comparaison des différents lieux traversés permet d'identifier certains phénomènes thermiques comme la chaleur, l'humidité, le froid ou le vent...

Ces parcours s'illustrent sous la forme d'une coupe qui permet de représenter la morphologie du bâti, les aménagements divers, les infrastructures, la végétation, mais aussi les usages afin de voir comment la population s'approprie ces lieux. Ces parcours permettent à la population d'appréhender les ressentis perçus pour chaque ambiance caractérisée. Ils participent à la sensibilisation des habitants au climat urbain estival et aux problématiques liées aux îlots de chaleur urbains.

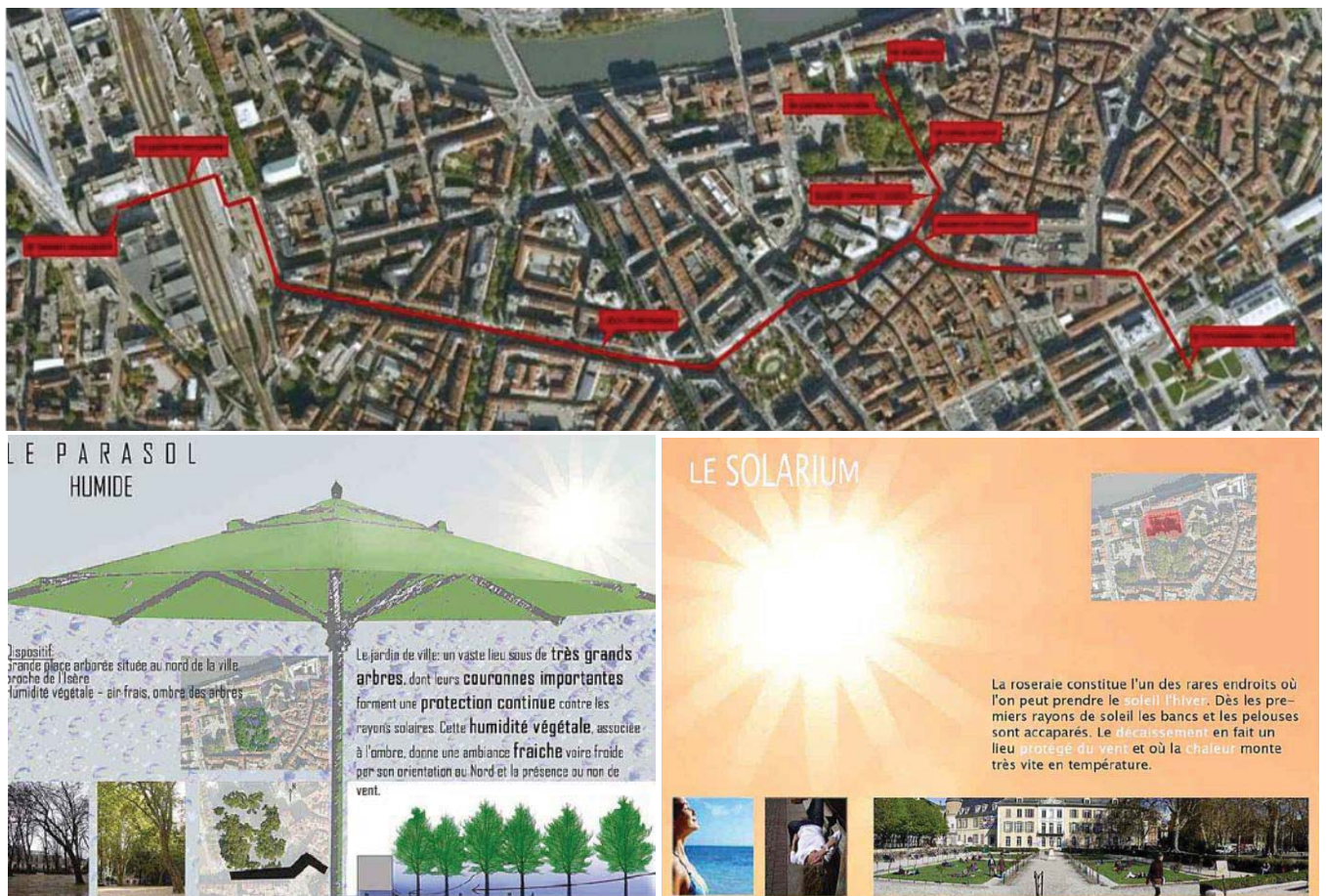


Figure 11- Balade thermique et exemple de coupe résultante (Source: Lo Giudice, 2008)

2. Programme PIRVE à Toulouse

Le programme PIRVE « Formes urbaines, modes d'habiter et climat urbain dans le périurbain toulousain » participe également à la prise en compte et l'intégration des habitants dans les questions de chaleurs urbaines. L'étude combine des mesures issues de la campagne Capitoul et des relevés *in situ* des températures avec une analyse paysagère, en entretiens avec les habitants des zones périurbaines de Toulouse. Cette étude a permis de dégager des typologies thermiques pour les quartiers étudiés et le ressenti des habitants. La prise en compte des modes d'habiter, relation des individus à leur environnement, est ainsi prépondérante pour la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain.

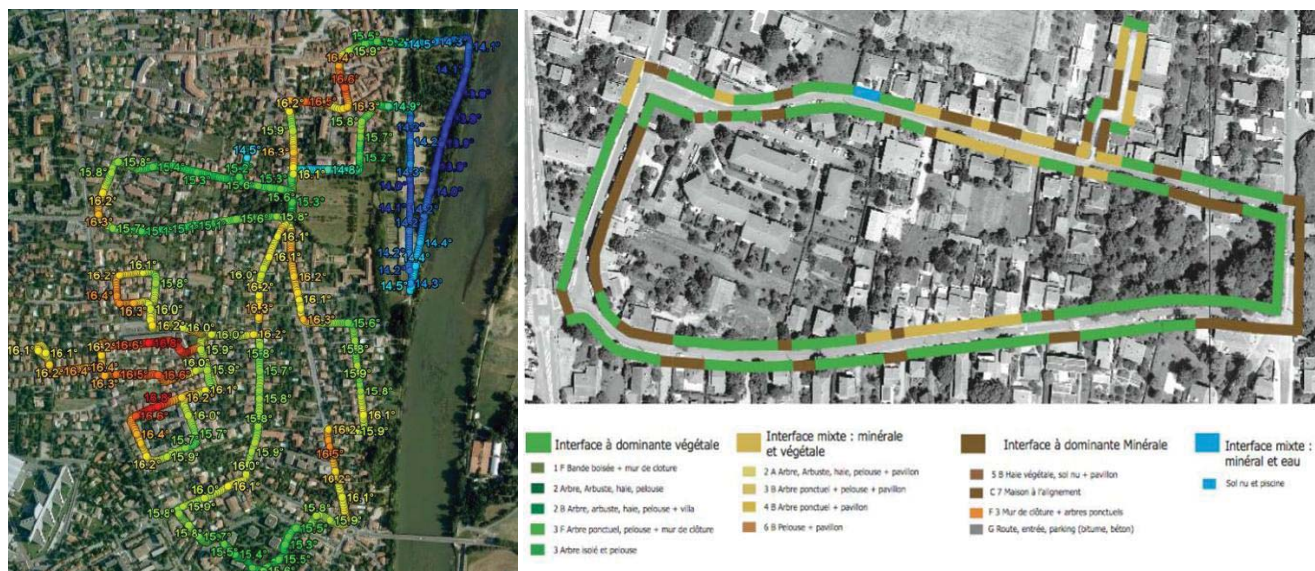


Figure 12 - Parcours de mesures de températures le 3 juin 2009, 6h30, à Blagnac / Éléments paysagers le long des parcours de mesure (Source: PIRVE, 2010)

3. Plan Climat - Le projet AMICA du Grand Lyon

Mené parallèlement à l'élaboration du PCET de la Communauté Urbaine du Grand Lyon, le programme AMICA (Adaptation and Mitigation, an Integrated Climate policy Approach), programme européen Interreg III C, vise à identifier de « bonnes » mesures d'adaptation (baisse de la vulnérabilité locale) présentant également un intérêt pour la thématique d'atténuation (réduction des émissions). Il a participé ainsi à la structuration de la politique climatique lyonnaise.

Une action spécifique aux ICU, « Identifier et maîtriser les risques associés aux Îlots de Chaleur Urbains », est développée en ce sens au sein du Plan Climat. L'action est essentiellement centrée sur le développement de connaissances, mais également sur l'intégration de la question d'adaptation dans les documents stratégiques qui permettront à terme le déploiement des projets de terrain liés aux îlots de chaleur.

L'action s'est déroulée en trois phases :

- Phase 1 – Participation au projet AMICA : réalisation d'une étude de vulnérabilité du territoire ;
- Phase 2 – Etude sur l'identification des îlots de chaleur urbains et leurs conséquences sanitaires :
 - Revue bibliographique de la micro-climatologie urbaine et mise en évidence des contributions des îlots de chaleur dans les problématiques sanitaires en cas de pics de chaleur,
 - Identification des éléments aboutissant à la constitution d'un îlot de chaleur et modélisation cartographique,
 - Réflexion sur les méthodes de validation de l'outil de prédiction des îlots de chaleur urbain.
- Phase 2bis – Intégration progressive de la question climatique dans les réflexions de la Mission Arbre.

Ce travail a permis à la collectivité de déterminer les zones les plus à risques, de sensibiliser les principaux acteurs et de penser les solutions à mettre en œuvre à plus longue échéance. (Plus d'informations sur cette action sur www.pcet-ademe.fr).

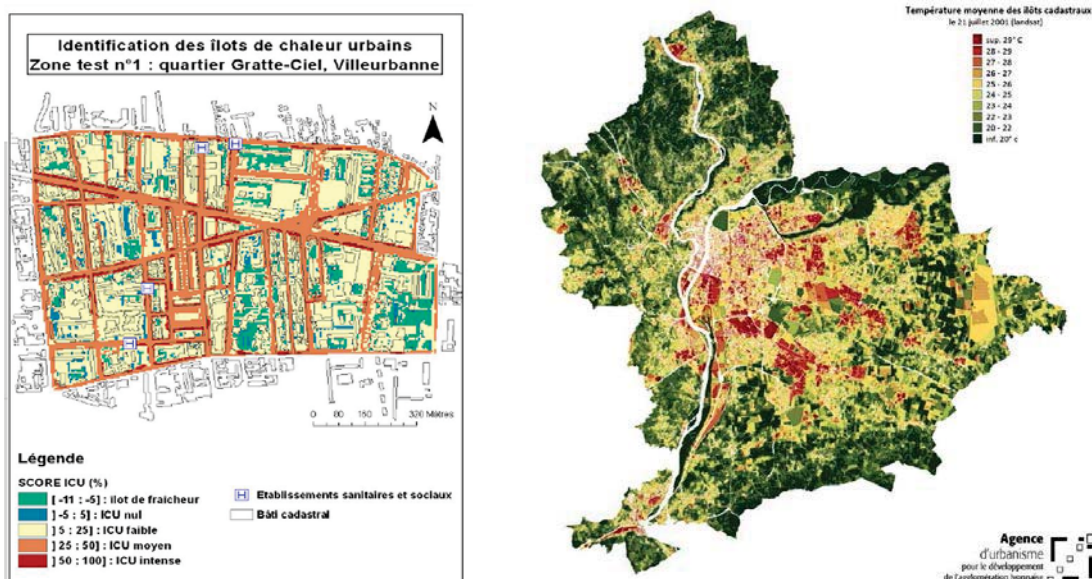


Figure 13 - Identification des îlots de chaleur urbains / Température moyenne des îlots cadastraux (Source: www.pcet-ademe.fr)

Le Plan régional pour le Climat d'Île-de-France, adopté le 24 juin 2011, développe différentes actions en matière d'adaptation dont le **Chantier 6 : Lutter contre les îlots de chaleur urbains**. Les objectifs principaux sont :

- Identifier les îlots de chaleur urbains (ICU) actuels et futurs sur l'ensemble des territoires franciliens ;
- Envisager des mesures de lutte contre les ICU dans le but de réduire la vulnérabilité des territoires les plus concernés.

Cette action pourra être développée au sein des Plans Climat réalisés par chaque collectivité sur le territoire francilien.

(...)

Revêtements perméables : intérêts et enjeux ? *(extraits)*

« Revêtements perméables – sols pavés drainants – revêtements drainants – revêtements poreux – sols poreux – pavés rafraichissants » sont autant de dénominations désignant des ouvrages capables d'infiltrer les eaux pluviales en surface. Plus consensuelle, la terminologie « Revêtement Perméable » a été choisie pour intégrer l'ensemble de ces dénominations. La typologie des revêtements perméables est présentée Fiche : *Typologie des revêtements perméables*.

Qu'est-ce qui caractérise un revêtement perméable ?

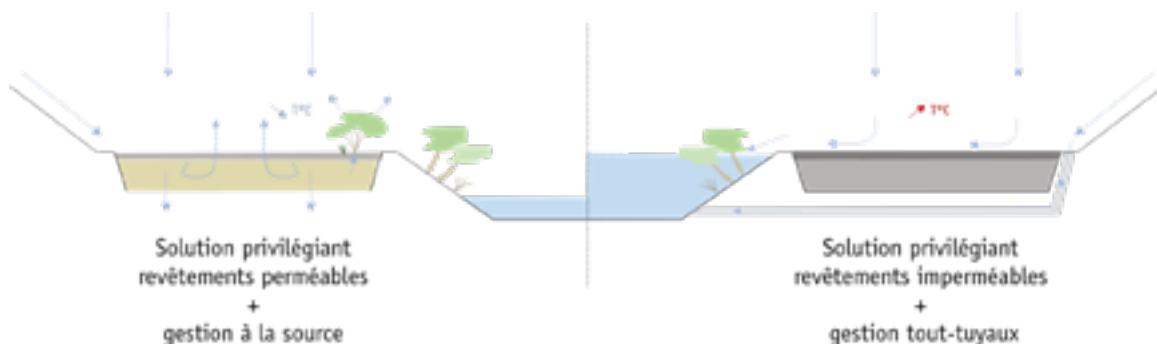


Schéma synthétique des bénéfices apportés par les revêtements perméables par rapport aux revêtements imperméables

Les revêtements - perméables ou imperméables – sont des solutions techniques répondant à des enjeux d'usages de cheminement ou de végétalisation propres au milieu urbain.

Les revêtements perméables ont la capacité d'infiltrer l'eau en surface. Ils peuvent aussi la stocker dans leur structure avant de la redistribuer progressivement vers la nappe ou vers des exutoires dédiés.

Ces revêtements sont constitués d'une grande diversité de matériaux, d'origine et de propriétés différentes (nature, couleur, perméabilité). Cette diversité leur permet de s'adapter à différentes conditions d'implantations et différents usages.

Le choix d'un revêtement perméable nécessite de croiser les besoins et fonctions que l'on attend de lui, notamment par rapport à l'usage du site et aux enjeux de gestion des eaux pluviales du site et/ou de la collectivité. L'intégration du revêtement dans le paysage et l'adéquation avec le cadre historique du site est aussi à prendre en compte.

Pourquoi utiliser un revêtement perméable ?

INTÉRÊT N°1

Ils favorisent l'infiltration des eaux pluviales

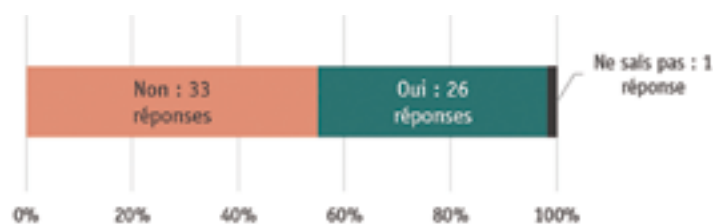
Par définition, la fonction première d'un revêtement perméable est sa capacité d'infiltration, de rétention et de stockage des eaux pluviales. L'eau est ensuite restituée soit vers la nappe, soit vers les plantes, soit vers un exutoire dédié. Utilisés à grande échelle, ils réduisent les risques d'inondations et respectent davantage le cycle naturel de l'eau.

Ce rôle est d'ailleurs le plus recherché par les professionnels : parmi les 63 sites observés, 78% ont indiqué que le revêtement avait été mis en œuvre dans un objectif d'infiltration des eaux pluviales. La capacité d'infiltration et de stockage peuvent en revanche varier selon le type de matériau et la configuration du revêtement choisi.

Les revêtements perméables peuvent aussi collecter des eaux de ruissellement de zones imperméables. Plus de la moitié des sites observés sont constitués de cette façon. Revêtements perméables et imperméables peuvent donc être mutualisés au sein d'un même aménagement.



Le revêtement a-t-il été mis en œuvre afin d'infiltrer les eaux pluviales ?



Le revêtement infiltre-t-il les eaux de ruissellement d'un revêtement imperméable à proximité ?

INTÉRÊT N°2

Ils augmentent la valeur paysagère et le support de végétation

La porosité des revêtements perméables leur confère également la capacité d'accueillir, sur tout ou partie du revêtement, de la végétation sauvage et/ou plantée. Ces qualités sont appréciées lorsque le rendu paysager de l'aménagement est une composante importante. De

plus, la plupart des solutions sur le marché présentent une grande palette de coloris, de finitions et de solutions de calepinage, permettant ainsi de personnaliser l'espace et de laisser place à la créativité.

INTÉRÊT N°3

Ils peuvent favoriser la biodiversité, réduire la pollution des eaux et réduire les effets d'îlots de chaleur

Biodiversité des sols et de l'écosystème général

La biodiversité des sols se compose d'un ensemble d'organismes vivants (nématodes, vers de terre, micro-organismes) jouant des rôles indispensables sur les services rendus par les sols. Une partie des revêtements perméables permet alors de favoriser le développement des organismes du sol¹. De plus, certains revêtements sont végétalisables. On pourra par exemple accueillir des espèces mellifères et/ou attractives pour certains auxiliaires de culture.

Réduction de la pollution des eaux pluviales

Le ruissellement engendre une accumulation de polluants dans les eaux de pluies. Avec l'utilisation de revêtements

perméables, les polluants captés dans les eaux pluviales sont alors stockés et retenus dans les sols. On évite ainsi une trop forte concentration de polluants. Pour une certaine catégorie de polluants (polluants organiques), l'activité biologique permet même de les dégrader au fil du temps.

Réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain

L'évaporation du sol et la transpiration des végétaux favorisent une réduction localisée de la température de l'air. La teinte du revêtement peut aussi être choisie pour réduire cette accumulation de chaleur et contribuer à réduire les îlots de chaleur urbain.

INTÉRÊT N°4

Ils peuvent être compatibles avec tout type de mobilité

Dans un aménagement urbain, la mobilité est souvent recherchée et les revêtements perméables peuvent être compatibles avec cette fonction.

Accessibilité pour les PMR

Une partie des revêtements, de par leur nature, sont déjà adaptés aux déplacements des personnes à mobilité réduite (PMR). En revanche, pour d'autres, des mesures d'accessibilité ou d'entretien doivent être mises en œuvre.

Déplacements de véhicules et de piétons

La grande majorité des revêtements perméables sont carrossables. Ils peuvent tout à fait être compatibles avec des déplacements de cycles et de véhicules (véhicules légers et même poids lourds si le trafic est raisonné). La quasi majorité des revêtements est praticable pour les piétons et une grande partie peut l'être pour des véhicules légers ou lourds.

1 - Piotrowska-Długosz et Charzynski, 2014 « The impact of the soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity, and physicochemical properties in the Ekranic Technosols of Toru (Poland) ».

INTÉRÊT N°5

Ce sont des solutions multifonctionnelles

Les revêtements perméables offrent une diversité de fonctions qu'il sera possible de combiner pour aménager des espaces multifonctionnels. Un même aménagement pourra par exemple permettre le stationnement des voitures tout en réduisant le ruissellement des eaux pluviales et en améliorant la qualité esthétique de l'espace : c'est le cas par exemple d'un parking conçu avec des dalles alvéolées engazonnées.

Les revêtements perméables sont donc des solutions très intéressantes pour mutualiser les coûts de mise en œuvre dans des espaces urbains denses. En revanche, tous les types de revêtement ne conviennent pas à toutes les situations, et certains revêtements perméables seront plus appropriés que d'autres. Il est donc important de choisir le revêtement et de concevoir l'aménagement global au regard des fonctions souhaitées par la maîtrise d'ouvrage.

Un peu moins d'un tiers des retours d'expériences portent sur des sites dont la fonction principale recherchée était dédiée au déplacement de véhicules. Ensuite, pour 18% chacun, les sites étaient conçus pour leur attrait paysager ainsi que la possibilité d'accepter le déplacement de piétons.

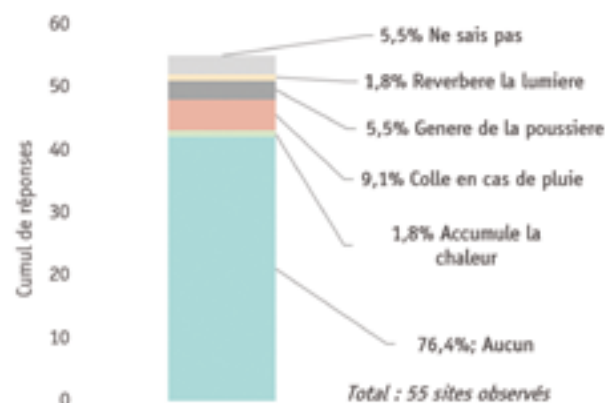


Quelles fonctions sont également recherchées sur l'utilisation de ce revêtement ?

(...)

Existe-t-il des désagréments associés aux revêtements perméables ?

Les revêtements perméables présentent peu de contraintes ou de désagréments une fois mis en œuvre. Trois quarts des professionnels interrogés ont indiqué que le revêtement en place n'en présentait aucun. Les autres mentionnent les désagréments suivants : la réverbération de la lumière, la génération de poussière, le risque de devenir brûlant en cas de chaleur ou à coller en cas de pluie. Ces désagréments peuvent être pris en compte par les concepteurs de ces matériaux comme l'ajustement de la finition en surface pour éviter la pulvérisation du revêtement et le choix des coloris pour éviter l'accumulation de chaleur et/ou la réflexion de la lumière.



Des désagréments sont-ils constatés sur le revêtement ?

Dans quels cas peut-on utiliser un revêtement perméable ?

Grace à leur diversité, les revêtements perméables peuvent être intégrés dans tous les types d'aménagements (voire même se substituer à des revêtements imperméables).

Dans l'enquête, les sites observés sont autant des cimetières (16% des réponses), que des parcs (13%) ou

des accompagnements de bâtiments (14%) et de voiries (13%). On notera également une part importante de zones de stationnement.

Quelles sont les conditions à la mise en œuvre de revêtements perméables ?

Il existe quelques conditions quant à la possibilité ou non de mettre en œuvre des revêtements perméables. Il s'agira de zones où l'infiltration n'est pas privilégiée :

- La hauteur de la nappe aux plus hautes eaux ne doit pas dépasser la couche de fondation.
- La proximité du bâti doit également être examinée pour éviter tout risque de dommage sur l'intégrité des fondations.
- La vérification de la portance du sous-sol qui doit être en accord avec l'usage futur.
- La présence de polluants dans les sols ne doit pas non plus engendrer un risque de lixiviation vers les nappes.
- Si la stabilité ou le risque de dissolution (gypse) de la roche du sous-sol ne le permettent pas. Généralement, l'infiltration ne devra pas dépasser celles de pluies habituellement rencontrées.

En complément, la norme NF EN 752-2 précise les modalités relatives à la conception et au dimensionnement des ouvrages des réseaux d'assainissement.



QUE DIT LA RÉGLEMENTATION ?

À l'échelle nationale, la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) et la Directive Eaux Résiduaires Urbaines (1991/271/CE) établissent un cadre de travail en termes de collecte et traitement des eaux pluviales urbaines². Ces textes encadrent la définition de documents de planification à l'échelle locale. Les SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux), orientent la planification à l'échelle des bassins versants. Ces schémas présentent les grandes dispositions pour la gestion des eaux pluviales et détaillent des objectifs chiffrés ou spatialisés. Ils encadrent les documents de planification à échelle intercommunale.

À l'échelle intercommunale, le PLU intègre un zonage pluvial et prescrit les raccordements des rejets aux réseaux d'assainissement qui précise les objectifs à atteindre et présentent les zones concernées l'infiltration des eaux pluviales. Ce zonage prescrit aussi la limitation des débits dans les réseaux et encadre les principes de gestion des eaux par infiltration. Enfin, peuvent s'ajouter les Plans de Préventions de Risques d'Inondations par ruissellement qui évaluent et encadrent les zones pouvant subir des inondations et le Règlement d'assainissement Pluvial établi par la collectivité exerçant la compétence GEPU.

Une collectivité peut refuser de raccorder les eaux pluviales aux réseaux d'assainissement, qu'ils soient unitaires ou séparatifs. Les zones où pourront s'installer des revêtements perméables correspondent en parti au zonage défini par le zonage pluvial et le PLU.

Des mesures incitatives et punitives sont également mises en place comme la possibilité aux communes de pouvoir taxer chaque mètre carré couvert de béton non drainant ou de bitume (1€ maxi par m² - Grenelle de l'environnement) ou encore l'article 129 de la loi ALUR ou la Loi Biodiversité de 2016 qui obligent à une part de végétalisation des projets ou de parking poreux.

2 - Cerema, 2018 « L'infiltration des eaux pluviales et son impact sur la ressource en eau souterraine - note de problématique » 48p.

Gestion des eaux pluviales à la source : des économies à court et long terme

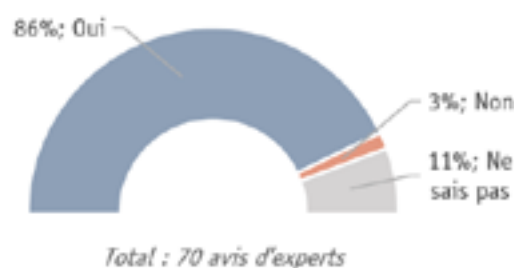
Puisque les eaux pluviales s'infiltrent et sont stockées sur place, ce sont autant de m³ qui n'auront pas besoin d'être collectés et traités par les réseaux d'assainissement. Les coûts d'entretien des réseaux, de traitement des eaux et d'investissement des ouvrages d'assainissement sont alors considérablement réduits. Des études chiffrées viennent appuyer ce bilan économique positif à court et long terme, par exemple :

- Douais Agglo³ anime depuis 1992 une politique de gestion des eaux pluviales à la source permettant une économie estimée d'1 million d'euros HT/an en amortissement, exploitation, maintenance et gestion (soit une économie globale de 35 €/m² lorsqu'on investit dans un revêtement perméable)
- Certains projets peuvent être à la fois moins chers à l'investissement et au global. C'est ce qu'a révélé une étude d'un territoire de 500 ha à Lyon⁴ avec des frais d'investissement six fois moins élevés pour la mise en œuvre d'ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source. Les frais de curage des bassins d'orages étant notamment la cause de cet écart de prix.

A cela s'ajoutent les bénéfices sur l'environnement et la santé humaine apportés par les revêtements perméables.

L'offre des revêtements perméables est-elle bien présente sur le marché ?

Bien que les revêtements perméables ne soient pas encore utilisés autant qu'ils le pourraient, l'offre commerciale semble déjà être suffisamment fournie. Dans l'enquête, 86% des experts ont affirmé que l'offre concernant le revêtement perméable était largement disponible sur le marché national. On citera par exemple les pavés et dalles alvéolées perméables qui englobent une grande diversité de dénominations commerciales.



Diriez-vous que ce revêtement est bien présent et accessible sur le marché national ?

3 - Dennin et Hérin, 2018, « Une politique pluviale volontariste et durable : bilan de 25 ans de bonnes pratiques environnementales - l'exemple chiffré du Douaisis - France ».

4 - Graie et Grand Lyon, 2018, « Conférence Ville Perméable ».

**EXAMEN PROFESSIONNEL D'AVANCEMENT DE GRADE
DE TECHNICIEN PRINCIPAL TERRITORIAL DE 2^E CLASSE**
SESSION 2023

**ÉPREUVE DE RAPPORT AVEC PROPOSITIONS OPÉRATIONNELLES
SPÉCIALITÉ : RÉSEAU, VOIRIE ET INFRASTRUCTURES**

Rédaction d'un rapport technique portant sur la spécialité au titre de laquelle le candidat concourt. Ce rapport est assorti de propositions opérationnelles.

Durée : 3 heures
Coefficient : 1

Verso

Ne retourner que suite au signal du responsable de salle.

À LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE TRAITER LE SUJET :

- ♦ Sauf consignes particulières figurant dans le sujet, vous devez écrire uniquement à l'aide d'un stylo à encre foncée, non effaçable sur votre/vos copie(s) et vous pouvez utiliser du blanc correcteur.
- ♦ Un seul sujet est donné au candidat. Aucun autre exemplaire du sujet ne pourra lui être fourni.
- ♦ Vous ne devez faire apparaître aucun signe distinctif (nom, prénom, signature, numéro de candidat, découpage et collage des copies entre elles, rabat occultant du coin supérieur droit de la copie non plié et collé, brouillons même vierges remis avec la/les copies...) dans votre/vos copie(s) et/ou annexe(s) le cas échéant (intercalaires, papier millimétré, feuille blanche). Sera considéré comme signe distinctif tout élément permettant de différencier et repérer particulièrement la ou les copies et non requis pour répondre à la commande du sujet.
- ♦ Le non-respect des règles ci-dessus peut entraîner l'annulation de la copie par le jury.
- ♦ Les feuilles de brouillon ne seront en aucun cas prises en compte.

Ce sujet comprend 25 pages

**Il appartient au candidat de vérifier que le document comprend
le nombre de pages indiqué.**

S'il est incomplet, en avertir un surveillant.