
S'adapter à la chaleur : les enseignements d'études internationales

koen.deridder@vito.be, 21 Sep 2022

Ci-dessous, nous fournissons une synthèse des mesures d'atténuation de la chaleur qui sont décrites dans les principaux rapports internationaux et publications scientifiques récemment publiés, offrant des informations à jour sur le sujet:

- Le 6^e rapport d'évaluation du GIEC, en particulier *impacts, adaptation et vulnérabilité* (GIEC, 2022) – les chapitres sur (1) *les villes, les établissements humains et les infrastructures clés* ; (2) *l'Afrique*;
- *Urban adaptation in Europe* (EEA, 2020), co-écrit par des chercheurs de VITO, contenant des informations pertinentes pour l'Afrique du Sud, même si le rapport se concentre sur les villes européennes;
- *État et tendances en matière d'adaptation: comment l'adaptation peut rendre l'Afrique plus sûre, plus verte et plus prospère dans un monde qui se réchauffe*, rapport du Centre mondial sur l'adaptation (GCA, 2021);
- Etudes locales en Afrique du Sud (Gauteng, Johannesburg, Ekurhuleni) ;
- La littérature scientifique générale.

6^e RAPPORT D'ÉVALUATION DU GIEC – IMPACTS, ADAPTATION ET VULNÉRABILITÉ

Le 27 février 2022, au milieu de la présente étude, le GIEC a publié « *Impacts, adaptation et vulnérabilité* » (GIEC, 2022), Working Group 2 contribution du 6^e rapport d'évaluation. Il est probablement juste de dire que ce rapport est actuellement la source la plus fiable de connaissances de pointe sur les mesures d'adaptation à l'échelle internationale.

Pour notre étude, deux chapitres revêtent une importance particulière :

- Chapitre 6 sur *les villes, les établissements et les infrastructures clés* (Dodman et al., 2022);
- Chapitre 9 concernant *l'Afrique* (Trisos et al., 2022).

Bien que la portée du rapport et de ces chapitres particuliers soit mondiale, ils contiennent une bonne partie des références à la situation sud-africaine, ce qui n'est pas surprenant compte tenu du grand nombre de contributeurs sud-africains. Ci-dessous, nous soulignons les points de vue de ces deux chapitres qui sont pertinents pour l'Afrique du Sud – et Johannesburg et Ekurhuleni en particulier – en nous concentrant sur les parties des rapports qui traitent des options d'adaptation à la chaleur excessive dans un contexte d'urbanité.

Dans le chapitre « *Villes, établissements humains et infrastructures clés* » du GIEC (2022), Dodman et al. (2022) distinguent trois groupes de mesures d'adaptation: les mesures impliquant (1) les infrastructures sociales, (2) les infrastructures grises (physiques/béton) et (3) les infrastructures vertes (solutions fondées sur la nature).

En ce qui concerne **l'adaptation par le biais de l'infrastructure sociale**, les auteurs mettent fortement l'accent sur la santé, affirmant que des systèmes de santé résilients sont importants pour protéger les plus vulnérables et soulignant l'importance de la couverture sanitaire universelle, y

compris pour les segments à faible revenu de la population. Invoquant les infrastructures grises, ils plaident en faveur d'une meilleure conception des bâtiments pour les infrastructures sociales telles que les centres de soins de santé et les infrastructures éducatives, ce qui les rend résilients aux températures élevées.

L'adaptation par l'infrastructure grise (physique) concerne les interventions techniques dans la morphologie et la forme bâtie des villes, dans les propriétés matérielles des bâtiments et des espaces publics et privés, et dans les équipements de refroidissement actifs et passifs, entre autres. De telles interventions peuvent contribuer à réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain et réduire l'exposition humaine à une chaleur excessive pendant les vagues de chaleur urbaines.

Des mesures techniques d'atténuation des risques thermiques, telles que la climatisation, sont de plus en plus mises en œuvre dans les centres urbains. Pourtant, ces mesures d'adaptation sont souvent problématiques car elles vont à l'encontre des objectifs d'atténuation du changement climatique en raison de la dépendance à la production d'énergie, qui, selon la source d'énergie (renouvelable ou à base de combustibles fossiles), peut augmenter les émissions de gaz à effet de serre. De plus, l'utilisation d'appareils de climatisation est une source d'émissions de chaleur anthropiques dans l'environnement urbain, ce qui augmente l'intensité des îlots de chaleur urbains. Malgré cela, des mesures d'ingénierie telles que les zones de refroidissement dans les villes fournissent des fonctions critiques de réduction des risques, par exemple pour établir des centres de refroidissement publics à utiliser pendant les vagues de chaleur. L'utilisation de l'énergie solaire peut être une solution partielle. En effet, pendant les vagues de chaleur, le rayonnement solaire est généralement abondamment disponible, souvent même excessivement (obstruant parfois les réseaux de transport d'électricité) ; l'utilisation de cette source d'énergie pour refroidir localement les espaces (comme dans les espaces communautaires frais) semble être une option acceptable. L'énergie solaire peut également être utilisée pour alimenter un éclairage nocturne fiable (lampadaires solaires et éclairage domestique), assurant ainsi la sûreté, la sécurité et la résilience aux perturbations de l'alimentation électrique du réseau. À plus grande échelle, le déploiement de panneaux photovoltaïques (solaires) sur les toits des bâtiments – en raison de l'effet de protection contre les radiations – réduit la demande d'énergie pour le refroidissement de 12% et réduit l'îlot de chaleur urbain et présente ainsi des avantages pour la santé.

Néanmoins, même lorsque le refroidissement actif est disponible, le refroidissement passif doit être mis en œuvre, afin d'éviter que les bâtiments et les espaces publics ne se réchauffent trop en premier lieu. Les mesures de refroidissement passif comprennent l'installation de l'arrosage de la chaussée et l'augmentation de l'albédo de surface à travers les toits froids (c.-à-d. avec des matériaux à haute réflectance) et les murs. Pourtant, quelques remarques s'imposent ici :

- que l'arrosage des chaussées abaisse la température de surface et de l'air grâce à une meilleure évaporation de l'eau (éliminant la chaleur latente de l'évaporation), il augmente également l'humidité de l'air, ce qui a pour effet d'améliorer la température du globe humide (WBGT), détériorant ainsi le confort thermique humain;
- bien que les murs très réfléchissants (blancs) limitent bien l'absorption de l'énergie rayonnante (les rayons du soleil) – réduisant ainsi les températures de surface et de l'air – ils peuvent entraîner une exposition accrue lorsqu'ils ne sont pas placés judicieusement; par exemple, les murs peints en blanc ou les revêtements routiers peuvent refléter de grandes

quantités de rayonnement solaire dans un canyon de rue, entraînant une exposition considérablement accrue pour les citoyens.

Néanmoins, l'amélioration de l'évaporation locale peut avoir des effets locaux bénéfiques (considérez, par exemple, les fontaines installées dans les aires de jeux pour enfants, fournissant un rafraîchissement) sans compromettre par trop le confort thermique (composante humidité de) dans l'environnement plus large. En outre, les surfaces réfléchissantes judicieusement placées, telles que les toits blancs, réduisent l'absorption de la chaleur rayonnante et constituent donc une mesure efficace axée sur la source. Néanmoins, l'efficacité relative des toits blancs (réfléchissants) par rapport aux toits verts (voir ci-dessous) est variable, car, bien que les toits blancs aient un potentiel similaire pour réduire le chauffage local, ils peuvent rapidement devenir gris en raison de la poussière et de la pollution de l'air, perdant ainsi leur efficacité.

Dodman et al. (2022) affirment que, d'une manière générale, les mesures d'adaptation les plus prometteuses sont une combinaison d'ombrage solaire (surplombs, persiennes – voir **Error! Reference source not found.**) avec des niveaux d'isolation accrus et de nombreuses possibilités d'appliquer une ventilation naturelle. Néanmoins, la prudence est également nécessaire ici, car une isolation accrue (y compris par des solutions vertes – voir ci-dessous) sans ombrage et ventilation peut entraîner des impacts négatifs en raison d'un refroidissement nocturne réduit (l'isolation gardant la chaleur à l'intérieur).



Exemple de persiennes solaires appliquées à un bâtiment public de la ville d'Ekurhuleni (Margaret Avenue, Kempton Park). Source: photo de Koen De Ridder.

L'adaptation par le biais d'infrastructures vertes (solutions basées sur la nature (NbS)) – également appelée adaptation écosystémique (EbA) se présente sous de nombreuses formes, notamment par le biais d'arbres de rue, de toits verts, de murs verts, de parcs urbains et autres. Selon de nombreuses sources citées dans Dodman et al. (2022), les NbS sont de plus en plus utilisés par les villes, y compris pour améliorer la santé et les moyens de subsistance, en particulier pour les groupes pauvres et marginalisés. La mise en œuvre d'infrastructures vertes urbaines est considérée comme un moyen puissant de réduire les températures extrêmes, avec de multiples avantages connexes, notamment la fourniture de défenses naturelles contre les inondations, des avantages pour la santé physique et

mentale humaine, l'atténuation du changement climatique et un habitat pour la biodiversité locale. Il convient toutefois de noter que le caractère durable du refroidissement local par la végétation dépend, entre autres, de facteurs locaux, tels que l'acceptation et l'intendance locales.

L'ombrage et l'évapotranspiration sont les principaux mécanismes de refroidissement induit par la végétation. L'ombrage réduit la température radiante moyenne (d'où la température du globe humide), qui est l'influence dominante sur le confort thermique humain extérieur dans des conditions chaudes et ensoleillées. Afin d'obtenir un bon effet de refroidissement, la préférence devrait être donnée aux espèces d'arbres ayant un indice de grande surface foliaire, c'est-à-dire présentant une couronne dense, car ces arbres présentent les plus grands avantages en matière d'ombrage et d'évapotranspiration. Dans le choix des espèces végétales à déployer, il est également important de tenir compte de l'augmentation prévue de la sécheresse en Afrique du Sud, en tenant compte des arbres résistants à la sécheresse (idéalement des espèces indigènes) pour éviter des coûts d'irrigation élevés.

En ce qui concerne les toits verts, leur performance de refroidissement est très variable et dépend de la teneur réelle en eau du substrat du toit vert, la végétation sèche étant peu performante en termes de refroidissement. L'effet des toits verts sur l'intensité des îlots de chaleur urbains à l'échelle de la ville est limité; l'avantage des toits verts est en grande partie local et concerne principalement le bâtiment individuel sur lequel il est installé. Dans ce cas, les toits verts peuvent aider à protéger les bâtiments contre la surchauffe, contribuant ainsi à réduire les coûts énergétiques en réduisant la demande de refroidissement (climatisation), en particulier pendant les périodes de pointe.

L'ombre projetée par les arbres sur les maisons a un effet similaire: les sources citées dans Dodman et al. (2022) indiquent que plus de 30% de la demande de refroidissement de pointe résidentielle peut être économisée comme ceci. Enfin, les murs verts, en plus de fournir un effet de refroidissement similaire aux toits verts, ont un avantage supplémentaire par le fait qu'ils abaissent la température de surface des murs du bâtiment (grâce à l'effet de refroidissement évapotranspirational), réduisant ainsi l'exposition radiante (infrarouge thermique) dans le canyon de la rue à côté du bâtiment. Les jardins communautaires, le verdissement de la cour arrière et d'autres types de végétation basse peuvent également offrir des avantages de refroidissement local aux résidents à proximité. Bien qu'ils n'aient pas l'ombrage fourni par les arbres, leurs propriétés de refroidissement de surface limitent également l'exposition au rayonnement à ondes longues.

Les espaces verts de moins de quelques hectares peuvent avoir des effets de refroidissement négligeables sur l'environnement, même si les arbres urbains, grâce à l'offre d'aloë, présentent clairement des avantages de refroidissement à micro-échelle. Ce caractère local du refroidissement de la végétation est un aspect très important à prendre en compte lors de la conception de mesures d'adaptation basées sur des infrastructures vertes. En fait, afin de maximiser les avantages d'adaptation du NbS pour réguler la chaleur urbaine, il est important de donner la priorité à la plantation d'arbres et à d'autres investissements dans le verdissement urbain dans les zones dédiées et ciblées où la vulnérabilité et le risque de chaleur sont les plus élevés, en particulier compte tenu des communautés qui manquent de couvert forestier urbain ou d'accessibilité aux parcs pour se rafraîchir pendant les journées chaudes ou vagues de chaleur.

L'agriculture urbaine, qui constitue une forme spécifique de NbS, peut contribuer à améliorer la sécurité alimentaire. L'agriculture urbaine parmi les communautés les plus pauvres dans les zones à faible revenu est déjà une source importante d'approvisionnement alimentaire, contribuant à la

sécurité alimentaire et à la santé. Les arbres fruitiers ou à noix peuvent offrir des avantages connexes pour la production alimentaire locale, mais le choix de l'espèce et de l'emplacement est important à prendre en compte en ce qui concerne les besoins et les normes culturelles locales. Cependant, le potentiel d'expansion de la production alimentaire urbaine en plein air peut être pratiquement limité par la disponibilité des terres; cela est particulièrement vrai lorsque l'urbanisation rapide se produit. L'agroforesterie urbaine (cultures mêlées aux arbres) s'est avérée avoir des effets concurrents: d'une part, la couverture forestière fournit de l'ombre aux cultures sous-jacentes, réduisant ainsi la demande en eau; d'autre part, l'atténuation de la lumière des arbres peut réduire le rendement des cultures. Pourtant, ces propriétés atténuant la lumière (rayonnement) ont des avantages pour la santé, en ce sens qu'elles protègent les travailleurs agricoles urbains d'une exposition excessive à la chaleur. Compte tenu de ce qui précède, il devrait être clair qu'une conception judicieuse (par exemple, en termes de densité d'arbres) des zones agroforestières urbaines est importante.

Malgré les connaissances croissantes sur le NbS, des études récentes mentionnées dans Dodman et al. (2022) indiquent que les approches de l'adaptation et de la résilience fondées sur la nature sont encore sous-reconnues et sous-investies dans la planification et le développement urbains.

Dodman et al. (2022) discutent également des aspects **liés à l'équité et à la justice** de l'adaptation à la chaleur excessive. En particulier, ils affirment que « les structures sociales, économiques et culturelles qui marginalisent les personnes par race, classe, ethnicité et sexe contribuent toutes de manière complexe aux injustices climatiques et doivent être mises en évidence de toute urgence afin que les options d'adaptation se déplacent au profit des plus vulnérables, plutôt que de bénéficier principalement aux personnes déjà privilégiées et de maintenir le statu quo ».

Souvent, les infrastructures ne sont pas mises en œuvre de manière adéquate dans les zones urbaines à faible revenu et ne sont pas également accessibles à tous. Entre autres, les quartiers à faible revenu ont souvent moins d'espaces verts et donc moins d'avantages associés au refroidissement (et autres). Cela est évident à Johannesburg et à Ekurhuleni, où la photographie aérienne montre clairement à quel point les cantons et les établissements informels sont dépourvus de végétation verte, en particulier par rapport aux zones résidentielles (souvent adjacentes).

Un autre aspect de l'équité à prendre en compte est l'impact des mesures d'adaptation sur la valeur des propriétés. Par exemple, l'augmentation de l'abondance des espaces verts est généralement bénéfique pour les valeurs immobilières. Cela peut réduire l'accès à un logement abordable, et même conduire à des déplacements par le biais d'expulsions et de réinstallations, ce qui renforce la vulnérabilité de certains groupes de population. Dans le même ordre d'idées, Dodman et al. (2022) mettent en garde contre le fait que les mesures d'adaptation concernant les bâtiments privés, telles que les travaux de rénovation, sont coûteuses, il faut donc prendre soin d'éviter les impacts négatifs potentiels sur l'équité sociale.

Pour terminer cette section, nous citons un certain nombre d'options d'adaptation qui, dans Dodman et al. (2022), sont répertoriées comme ayant le potentiel **le plus élevé de réduction du risque de chaleur**. Les solutions basées sur la nature se classent très haut, impliquant la verdure urbaine à plusieurs échelles spatiales, l'ombrage de la végétation, les toits verts et les jardins communautaires. En ce qui concerne les mesures liées au refroidissement actif, l'accent est mis sur la réduction des coûts énergétiques et sur l'amélioration du refroidissement des locaux dans les bâtiments. Enfin et surtout, l'une des mesures d'adaptation les plus efficaces pour lutter contre l'impact de la chaleur

extrême consiste à assurer un large accès aux systèmes de santé publique pour les populations les plus vulnérables.

Dans le chapitre « Afrique » du rapport du GIEC (2022) sur *les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité*, Trisos et al. (2022), les aspects urbains de l'adaptation font référence à la fourniture d'espaces de refroidissement pendant les vagues de chaleur pour réduire les risques liés à la chaleur extrême, entre autres actions.

En dehors de cela, ils se concentrent en grande partie sur la réduction de la morbidité et de la mortalité lors d'épisodes de chaleur extrême par **des interventions dans le secteur de la santé**, par des changements de comportement et des initiatives de promotion de la santé, des interventions du système de santé et des modifications de l'environnement bâti et naturel. Les mesures d'adaptation sont considérées comme particulièrement importantes pour les groupes à haut risque tels que les travailleurs en plein air, les personnes âgées, les femmes enceintes et les nourrissons.

- Les initiatives de promotion de la santé comprennent la promotion de mesures d'hydratation et de refroidissement telles que la consommation de liquides froids, l'utilisation de pulvérisations d'eau et la sensibilisation aux symptômes et à l'importance du stress thermique, y compris les coups de chaleur.
- Les interventions des systèmes de santé comprennent des systèmes d'alerte précoce, des plans d'action pour la chaleur et la santé et la fourniture, par les agents de santé, d'interventions de refroidissement, telles que l'approvisionnement en eau froide ou en ventilateurs, pendant les vagues de chaleur.
- Les changements apportés à l'environnement bâti comprennent le blanchiment du toit et l'amélioration de la ventilation pendant la chaleur extrême, l'utilisation de matériaux isolants ou la modification des matériaux de construction du bâtiment pour améliorer leur capacité à modérer les températures intérieures.

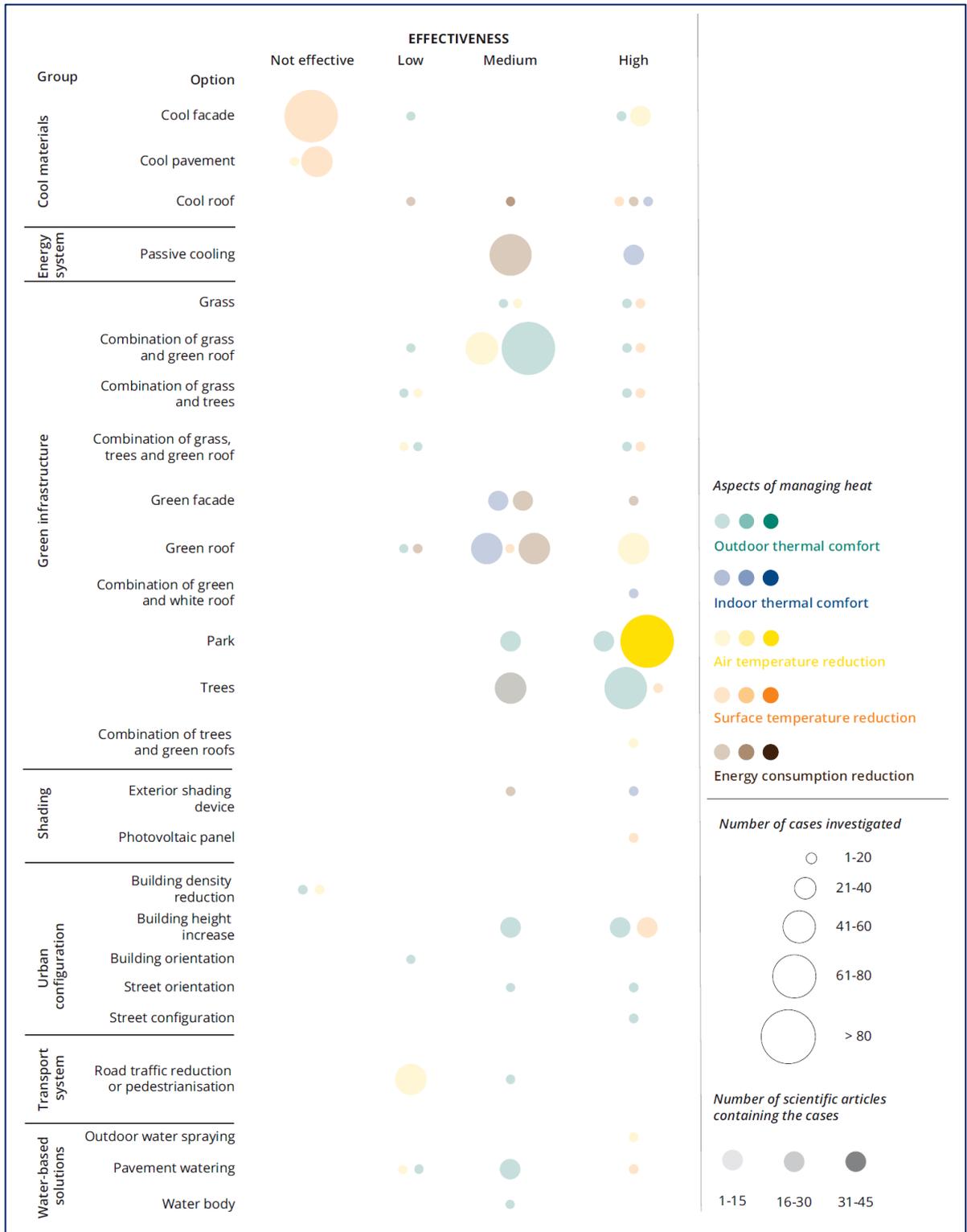
L'agriculture et la sylviculture sont promues en tant que mesures d'adaptation urbaine, étant donné qu'elles atténuent les impacts du changement climatique tels que la chaleur (en fournissant de l'ombre et par l'évapotranspiration) et les inondations (en réduisant le ruissellement). En outre, l'agriculture et la foresterie urbaines présentent de multiples avantages connexes, par exemple, elles peuvent améliorer la nutrition et la sécurité alimentaire, le revenu des ménages et la santé mentale des agriculteurs urbains.

Enfin, Trisos et al. (2022) voient un rôle pour l'adaptation au changement dans **la réduction de la vulnérabilité, de la pauvreté et des inégalités**. Pour ce faire, l'adaptation devrait donner la priorité aux ménages pauvres pour des interventions telles que la protection sociale, l'adaptation écosystémique, les soins de santé universels, les bâtiments et l'agriculture intelligents face au climat, les horaires de travail flexibles sous une chaleur extrême et les systèmes d'alerte précoce. Une fois de plus, l'infrastructure verte urbaine joue un rôle potentiellement important dans la planification de l'adaptation, car dans les établissements informels, elle a le potentiel de ouvrir des voies pour l'inclusion et la justice sociale.

L'ADAPTATION URBAINE EN EUROPE

Bien que ce rapport (EEA, 2020) ait été rédigé avec un accent particulier sur les villes européennes, il contient de nombreux éléments plutôt génériques, avec des applications potentielles à la situation

de Johannesburg et d'Ekurhuleni, en particulier si l'on considère que de nombreuses régions d'Europe (centrale et méridionale) présentent un climat pas trop différent de celui des deux métros. La Figure ci-dessous donne un aperçu de l'efficacité d'une série de mesures structurelles pour lutter contre la chaleur excessive.



Aperçu de l'efficacité des mesures structurelles d'atténuation de la chaleur. Source: AEE (2020).

Comme dans les sections précédentes, les mesures d'infrastructure dominent une fois de plus la liste des options d'adaptation pour faire face aux températures élevées. En effet, s'appuyant sur de nombreuses preuves, l'EEA (2020) constate que les infrastructures génétiques (arbres, parcs) ont une efficacité moyenne à élevée pour améliorer le **confort thermique extérieur**. La présence de végétation réduit la capacité de stockage de chaleur du substrat urbain et réduit la température de l'air grâce à une évapotranspiration et à un ombrage accru. L'EEA (2020) souligne les nombreux avantages connexes des infrastructures vertes, tels que la réduction des risques d'inondation et divers avantages socio-économiques et de bien-être. Cependant, ils indiquent également clairement que le maintien des infrastructures vertes dépend de la disponibilité de l'eau, ce qui peut constituer un défi en Afrique du Sud compte tenu des futures conditions de sécheresse prévues.

Les auteurs ont également proposé d'autres options pour la réduction des températures, notamment (1) l'utilisation de matériaux froids (matériaux à haute réflectance solaire et émetteur infrarouge) sur les façades, les toits et les trottoirs; (2) des solutions à base d'eau telles que la pulvérisation d'eau en extérieur (avec la mise en garde sur la disponibilité suffisante de l'eau); (3) les changements de configuration urbaine (p. ex. réduction de la densité des bâtiments, augmentation de la hauteur des bâtiments). L'utilisation de panneaux photovoltaïques (solaires), en fournissant de l'ombrage pour les toits des bâtiments, est également considérée comme un moyen efficace de réduire la température du toit.

L'augmentation de la hauteur du bâtiment peut améliorer le confort thermique extérieur, en améliorant les canaux d'ombre et de vent (ventilation). L'EEA (2020) souligne le rôle du trafic urbain dans l'augmentation du dégagement de chaleur anthropique (d'où l'effet d'îlot de chaleur urbain), en promouvant la « piétonnisation » des rues à fort volume de trafic comme étant plus efficace que la réduction de l'intensité du trafic. Les auteurs présentent une image mitigée en ce qui concerne des mesures telles que les façades fraîches et l'optimisation de la configuration des rues; leur efficacité dans l'amélioration du confort thermique extérieur allant de faible à élevé.

En ce qui concerne le **confort thermique intérieur**, les mesures les plus efficaces comprennent des toits frais et des combinaisons de toits verts et blancs, ainsi que des dispositifs de refroidissement passif et d'ombrage extérieur. Dans plusieurs études de modélisation mentionnées dans l'EEA (2020), les volets et les stores solaires se sont avérés être les moyens les plus efficaces d'abaisser les températures intérieures, tant pour les habitations que pour les immeubles de bureaux. Les arbres, les toits verts et les façades verts ont montré une efficacité moyenne. Une ventilation accrue dans les bâtiments est essentielle pour abaisser les températures intérieures. Par exemple, dans les logements à bas prix du sud de l'Espagne, l'utilisation de la ventilation naturelle la nuit par les habitants a réduit la température intérieure jusqu'à 5 ° C. La ventilation active dans les immeubles de bureaux peut réduire jusqu'à 90 % les heures de travail perdues pendant les épisodes de chaleur (scénario climatique élevé, fin du 21e siècle). Il est important de veiller à ce que les installations destinées aux groupes vulnérables (écoles, hôpitaux, maisons de retraite) soient bien adaptées aux températures élevées, étant donné en particulier que ces installations sont souvent situées dans des zones caractérisées par une forte intensité d'îlot de chaleur urbain.

Le refroidissement par l'utilisation intensive de la climatisation est considéré comme une inadaptation, car il entraîne souvent des émissions de gaz à effet de serre; en raison de la chaleur anthropique supplémentaire qui est rejetée dans l'air ambiant (intensifiant ainsi l'îlot de chaleur urbain); et parce que la demande d'électricité de pointe peut mettre le système énergétique sous

pression. Afin de réduire la demande d'énergie de refroidissement, les énergies de refroidissement sont révélées très efficaces pour économiser de l'énergie; les toits verts, l'ombrage et le refroidissement passif avaient des niveaux d'efficacité moyens. L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque et thermique est une solution supplémentaire potentielle pour le refroidissement, car l'énergie solaire est généralement abondamment disponible pendant les périodes de forte demande de refroidissement. Outre les options d'adaptation (infra)structurelle, des **plans d'action** bien conçus et bien mis en œuvre pour les vagues de chaleur peuvent réduire avec succès la mortalité due aux températures extrêmes. Les mesures contenues dans les plans d'action contre la chaleur comprennent la fourniture aux personnes vulnérables d'informations sur les risques et les mesures préventives, accompagnées dans de nombreux cas par la fourniture de salles de refroidissement et d'un soutien médical. Lorsque des mesures non structurelles sont envisagées, les systèmes d'alerte aux vagues de chaleur apparaissent comme l'un des moyens les plus rentables de faire face au risque de chaleur pour les vies humaines.

ÉTAT ET TENDANCES EN MATIÈRE D'ADAPTATION (EN AFRIQUE)

Ce rapport (GCA, 2021) confirme en grande partie les conclusions mentionnées dans les sections précédentes. En particulier, les auteurs se réfèrent à l'importance des solutions basées sur la nature (NbS) en tant que mesure d'adaptation efficace, mentionnant que les verts urbains tels que les parcs modèrent les vagues de chaleur dans les villes, tout en absorbant les eaux pluviales. Ce dernier aspect est pertinent pour l'Afrique du Sud, compte tenu de l'augmentation prévue des précipitations intenses.

GCA (2021) approuve la fourniture de logements abordables (climatiques) sûrs, la création de parcs urbains pour réduire la chaleur urbaine et la promotion d'une agriculture urbaine innovante. En ce qui concerne ce dernier point, dans une section consacrée à l'Afrique du Sud, ils mentionnent que « les NbS peuvent stimuler durablement la productivité agricole (urbaine), protéger les actifs et les moyens de subsistance, permettre la reconstruction urbaine et soutenir la conservation de l'environnement et de la biodiversité en Afrique du Sud ».

Selon les auteurs, la réduction des risques dans le monde du travail devrait être considérée comme une priorité pour l'Afrique. Les lieux de travail peuvent nécessiter des modifications physiques ainsi que de nouvelles procédures de sécurité et de santé au travail pour faire face au stress thermique lié au changement climatique.

Dans le domaine de la santé, le rapport présente des recommandations visant à inclure le renforcement des systèmes d'alerte précoce, en se référant à des études qui montrent qu'un avertissement préalable d'une vague de chaleur à venir peut réduire considérablement les dommages. La mise au point et le déploiement à grande échelle de systèmes d'alerte précoce et d'intervention peuvent réduire efficacement le fardeau de certaines maladies infectieuses et de la morbidité et de la mortalité liées à la chaleur.

Enfin et surtout, GCA (2021) souligne l'importance d'avoir des femmes représentées dans la prise de décision à tous les niveaux, afin de pouvoir influencer des solutions innovantes et durables aux défis climatiques.

ETUDES LOCALES EN AFRIQUE DU SUD (GAUTENG, JOHANNESBURG, EKURHULENI)

En ce qui concerne les mesures et la politique locales d'atténuation de la chaleur, la *stratégie et le plan d'action de lutte contre le changement climatique de la région de la ville de Gauteng* (van Weele et al., 2020) stipulent que les mesures devraient viser à « intégrer les résultats de l'atténuation et de l'adaptation afin de maximiser les possibilités de résultats de co-bénéfice. La mise en place d'infrastructures vertes urbaines (arbres) constitue une mesure qui profite éminemment à la fois à l'adaptation et à l'atténuation. En dehors de cela, toute mesure de refroidissement (locale), que ce soit par un verdissement amélioré ou par d'autres moyens (par exemple, des toits froids), réduira la demande d'énergie de refroidissement, servant ainsi également les objectifs d'atténuation; l'utilisation de panneaux solaires pour alimenter les installations de refroidissement des bâtiments contribue à ces deux aspects.

Le *plan d'action climatique de la ville de Johannesburg* (CoJ, 2021) fait référence à la vulnérabilité des communautés vivant dans les quartiers les plus pauvres de la ville, qui ont en outre une capacité d'adaptation limitée, d'où l'importance de donner la priorité aux actions ciblant ces communautés. La ville de Johannesburg reconnaît le rôle de l'infrastructure verte urbaine dans la réduction des températures extrêmes, avec un rôle particulier pour les jardins urbains communautaires. Le développement de mécanismes pour refroidir les établissements de santé est mis en avant comme important, notamment par l'utilisation d'énergies renouvelables pour répondre à la demande d'énergie pour le refroidissement. Outre les établissements de soins de santé, des abris de qualité pour protéger la santé communautaire et les soins aux groupes vulnérables sont considérés comme importants. Enfin, en tant que mesure « douce » (c'est-à-dire immatérielle), les campagnes de sensibilisation visant à éduquer les citoyens sur la façon de rester au frais pendant une vague de chaleur sont pertinentes, tout comme les systèmes d'alerte précoce et les mécanismes de diffusion de l'information pour alerter les gens des vagues de chaleur potentielles.

La *stratégie de réponse au changement climatique d'Ekurhuleni* (EMM, 2015) promeut également l'infrastructure verte urbaine comme base de mesures d'adaptation efficaces. Entre autres, la stratégie mentionne l'agroforesterie urbaine, l'augmentation de l'ombrage et du refroidissement naturel au moyen de la plantation d'arbres indigènes pour protéger les cultures et l'utilisation de cultures plus tolérantes à la chaleur. Ekurhuleni s'inquiète également de l'effet de l'augmentation des températures sur le système de transport, notamment « l'adoucissement des routes pavées, la fonte des pneus, l'augmentation de l'inconfort et de l'épuisement du conducteur, entraînant à son tour un risque accru d'accidents, [...] ». La stratégie exprime l'importance de moderniser les maisons de ceux qui sont vulnérables à la chaleur extrême, reconnaissant que la climatisation peut ne pas être une solution appropriée (trop coûteuse, contrecarrant les efforts d'atténuation, alimentation peu fiable). Ekurhuleni promeut également les systèmes d'alerte précoce à la chaleur, le port accru de vêtements de protection solaire et les plans proactifs de réponse aux vagues de chaleur.

LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Ziter et al. (2019) plaident en faveur **du verdissement des quartiers informels**, en donnant la priorité à « la plantation d'arbres et à d'autres investissements dans les infrastructures vertes dans les zones où la vulnérabilité et le risque de chaleur sont les plus élevés, en particulier les communautés qui manquent de couvert forestier urbain ou d'accessibilité aux parcs pour se rafraîchir pendant les

jours chaudes ou les vagues de chaleur ». Il convient de noter que les espaces verts urbains, outre leurs propriétés d'atténuation de la chaleur, présentent de nombreux avantages connexes. Entre autres choses, des études ont démontré des effets bénéfiques sur la santé mentale (p. ex., Aerts et al., 2022). En Afrique du Sud, une étude a montré l'importance de la collecte de produits alimentaires à partir d'arbres urbains dans les fermes parmi les ménages dans les établissements informels (Kaoma et Shackleton, 2014).

La végétation urbaine a également le potentiel de refroidir localement l'environnement, réduisant ainsi les besoins en refroidissement des bâtiments (Erell et Zhou, 2022). McDonald et al. (2016) affirment que les arbres urbains, en plus d'atténuer le changement climatique en séquestrant directement le carbone, aident également à réduire la consommation d'électricité pour le refroidissement, d'où les émissions de gaz à effet de serre. Ces auteurs rapportent jusqu'à 9% de réduction des coûts annuels de chauffage et de climatisation à partir d'un seul arbre bien placé.

Pour un aperçu complet des options d'adaptation basées sur la nature disponibles, le lecteur est invité à s'inspirer des excellents ouvrages suivants: Lenzholzer (2015) et UNaLab (2020). Ces publications décrivent des solutions basées sur l'infrastructure verte urbaine, en tenant compte d'une variété de formes, y compris les parcs, les arbres de rue, les façades vertes, les espaliers, les toits verts, les pergolas, les éléments de démarcation verte, les arbres sur les places et autres; chaque type d'infrastructure verte représenté par une brochure d'information distincte décrivant l'efficacité, la maintenance, les aspects de coût, entre autres.

Selon le GIEC (Dodman et al., 2022), **les systèmes d'alerte précoce et de gestion de la chaleur et de la santé** présentent des avantages très clairs. Par exemple, en comparant les étés chauds de 2003 et 2006 en France, et sur la base du nombre prévu de décès dus à la chaleur, il a été conclu que les plans de gestion des vagues de chaleur mis en place à la suite de la vague de chaleur de 2003 ont réduit la mortalité en 2006 de 70 % (Fouillet et al., 2008; EEA, 2021). De plus, il est généralement admis que les plans d'alerte précoce en cas de chaleur présentent un rapport avantages/coûts avantageux, ce qui a un impact assez important sur la santé en échange d'un investissement relativement modeste (OMS, 2021). Pourtant, pour Johannesburg, Nana et al. (2019) vérifient que « actuellement, les vagues de chaleur sont absentes du mandat du département local [de la santé environnementale], les exigences législatives peu claires brouillant la responsabilité de la planification des vagues de chaleur ».

Au-delà des échelles de temps des systèmes d'alerte précoce, c'est-à-dire lorsque l'on considère des horizons temporels plus longs, il est important d'accroître la sensibilisation à la chaleur et à la santé. Pour l'Afrique du Sud, Manyuchi et al. (2022) soulignent l'importance de futures campagnes de sensibilisation à la santé qui englobent toute la gamme des impacts de la chaleur et de la santé, afin de réduire la vulnérabilité, la morbidité et la mortalité. Ncongwane et al. (2021) affirment que, pour intensifier la résilience du public au stress thermique, il est nécessaire de sensibiliser davantage la santé publique aux dangers du stress thermique localement. Wright et al. (2019) affirment que les campagnes de sensibilisation à la chaleur et à la santé devraient cibler principalement les personnes souffrant de maladies préexistantes et les personnes âgées, car ces groupes sont particulièrement vulnérables à la chaleur.

En ce qui concerne la **surchauffe des logements à faible coût**, Matandirotya et al. (2021) soulignent l'importance d'appliquer des stratégies d'adaptation au parc de logements existants de logements à faible coût afin de réduire les effets du changement climatique sur les occupants. En Afrique du Sud,

une étude de Kimemia et al. (2020) a montré qu'un refroidissement considérable peut être obtenu en appliquant des revêtements froids (peintures hautement réfléchissantes) sur des logements informels. En fait, des initiatives sont déjà prises en Afrique du Sud pour refroidir les climats intérieurs grâce à des applications de toit frais, en particulier, l'Institut national sud-africain de développement de l'énergie (SANEDI) est engagé dans le développement de projets de toit frais.

Plusieurs études ont démontré la capacité de refroidissement des structures de type pergola (Watanabe et al., 2014; Ochoa et al., 2022), ce qui les rend appropriés comme moyen d'atténuer l'augmentation des températures. Cependant, bien que les pergolas puissent être construites assez facilement, il convient de prendre en compte le fait qu'elles nécessitent un entretien régulier (Lenzholzer, 2015).

Pendant les vagues de chaleur, les villes donnent parfois accès à des **espaces communautaires frais** afin de répondre aux préoccupations de santé publique des résidents vulnérables (Stewart et Mills, 2021). Kim et al. (2021) constatent que les centres de refroidissement ont joué un rôle important dans la réduction des risques d'effets néfastes sur la santé de l'exposition à la chaleur extrême, en particulier pour les personnes vulnérables telles que les sans-abri (Berisha et al., 2017). Des études ont montré que le fait de ne passer que quelques heures dans un environnement climatisé réduit les maladies et les décès liés à la chaleur (Semenza et al., 1996).

L'utilisation de panneaux solaires pour fournir de l'énergie au système de refroidissement est importante, afin de ne pas augmenter les émissions de gaz à effet de serre. Il est important de noter que les panneaux solaires fournissent également un blindage physique supplémentaire des surfaces du toit (simplement en bloquant les rayons solaires), réduisant ainsi la surchauffe des bâtiments, réduisant ainsi la demande d'énergie de refroidissement (Masson et al., 2014). Enfin, une étude menée à Johannesburg (Bassi et al., 2021) affirme que l'énergie solaire génère un retour sur investissement positif et constitue un investissement rentable pour les bâtiments en Afrique du Sud, en particulier compte tenu de la hausse des prix de l'électricité. Une étude menée aux États-Unis (Nayak et al., 2019) a révélé que, dans les zones urbaines, de nombreux résidents ne sont pas à distance de marche d'un centre de refroidissement, auquel cas un accès approprié par les transports en commun est important.

Le jardinage urbain est également éminemment adapté pour être combiné avec la mise en œuvre du compost naturel. L'application de compost naturel présente de nombreux avantages pour le climat et d'autres avantages (voir, par exemple, Gilbert et al., 2020a; 2020b). En ce qui concerne l'adaptation au climat, le compost aide à préserver l'humidité du sol grâce à sa capacité à augmenter la capacité de rétention de l'eau du sol. Les objectifs d'atténuation du changement climatique bénéficient du fait que le compost améliore la séquestration souterraine du carbone (Fares et al., 2017). Outre ces avantages liés au climat, le compost présente de multiples autres avantages, tels que l'amélioration de la fertilité des sols. Le compost basé sur le recyclage des déchets organiques (provenant des marchés végétaux et animaux) contribue à la réduction des déchets urbains. Le recyclage des déchets urbains conduit à des quartiers plus propres et génère des emplois pour les citoyens pauvres, même si cela se limite souvent à l'économie informelle (Kareem et al., 2020). Il convient de noter que la ville de Johannesburg connaît déjà bien les activités de réacheminement des déchets, y compris le compostage; il est toujours nécessaire d'augmenter ces activités (Mutezo et al., 2021).

En ce qui concerne la **productivité du travail et la santé au travail**, l'adaptation devrait être fondée sur un suivi efficace du stress thermique sur le lieu de travail. Les preuves directes concernant le suivi du WBGT dans les milieux de travail sud-africains font défaut, mais une première mesure d'adaptation pourrait précisément viser cela, c'est-à-dire assurer un suivi approprié du WBGT dans l'environnement de travail, comme cela se fait régulièrement au Japon, par exemple (Takebayashi et Moriyama, 2020). En outre, des mesures douces (comportementales) devraient être mises en œuvre pendant les vagues de chaleur, telles que la modification des heures de travail pour éviter les parties les plus chaudes de la journée ou les pauses régulières. Selon Day et al. (2019), une telle optimisation des heures de travail pourrait être la mesure d'adaptation ayant le plus grand impact bénéfique. Enfin, des mesures simples (et bon marché) mais efficaces devraient être mises en place, telles que des vêtements de protection (chapeau de soleil) et la fourniture de liquides suffisants. D'autres mesures simples comprennent un « système de jumelage » pour observer tout symptôme de surchauffe chez les collègues, l'accès à des soins médicaux pour les maladies liées à la chaleur et la formation des travailleurs et des superviseurs sur tous les aspects de la prévention de l'impact de la chaleur (Kjellstrom et al., 2014).

En ce qui concerne la prévention du chauffage intérieur excessif dans les bâtiments d'usine, dans une étude menée au Mexique, Espino-Reyes et al. (2020) ont conclu que la meilleure approche pour protéger les bâtiments industriels de la surchauffe est de mettre en œuvre un toit frais (réflectivité et émissivité élevées, voir les sections précédentes) ou d'isoler le toit. De plus, les bâtiments industriels aux toits métalliques bénéficieraient le plus de la mise en œuvre de panneaux solaires sur les toits.¹

Pour les immeubles de bureaux, plusieurs mesures d'adaptation existent. Dans une étude portant sur un immeuble de bureaux à Anvers (qui abrite des bureaux VITO), Costa et al. (2016) et Hooyberghs et al. (2017) ont testé des mesures physiques et comportementales. Les mesures physiques consistaient en une ventilation accrue et l'utilisation de stores solaires. Même s'il s'agit de mesures assez simples et peu coûteuses, ne consommant pas non plus de grandes quantités d'énergie (à l'exception des pompes électriques utilisées dans la ventilation), l'étude susmentionnée montre que les deux sont efficaces pour réduire le nombre d'heures de travail perdues. (Les heures de travail perdues ont été estimées sur la base de la réglementation sur la santé au travail en vigueur en Belgique, qui tient compte du dépassement de certains seuils de la température du globe humide (WBGT)).

Enfin et surtout, toute stratégie d'adaptation réussie devrait reposer sur la **participation des communautés locales**. En effet, Ziervogel et al. (2021) soulignent l'importance du renforcement des capacités au niveau communautaire pour assurer l'appropriation et la légitimité des interventions à plus long terme. En particulier, les communautés marginalisées – compte tenu de leur vulnérabilité aux risques climatiques – devraient être impliquées, en renforçant leur capacité à s'adapter localement et à intégrer leurs perspectives sur l'adaptation. Dans le même ordre d'idées, Chirisa et al. (2016) constatent que les approches non participatives courtisent en grande partie la résistance, plutôt que le soutien, des citoyens.

¹ De nombreuses régions du Mexique ont un climat chaud et aride, assez similaire au type de climat futur prévu à Johannesburg et Ekurhuleni.

RÉFÉRENCES

- Aerts, R., N. Vanlessen, S. Dujardin, B. Nemery, A. Van Nieuwenhuyse, M. Bauwelinck, L. Casas, C. Demoury, M. Plusquin, T.S. Nawrot, 2022. Residential green space and mental health-related prescription medication sales: An ecological study in Belgium, *Environmental Research*, 211, 113056, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113056>.
- Bassi, A.M., L. Casier, G. Pallaske, D. Uzsoki, 2021. Sustainable Asset Valuation (SAVi) of Paterson Park's Building Infrastructure: City of Johannesburg (South Africa). Issued by IISD-EU / David Uzsoki, April 2021, Ref: D428h.2.5.1. Available from <https://www.iisd.org/system/files/2021-04/savi-paterson-park-johannesburg-south-africa.pdf>.
- Berisha, V., Hondula, D., Roach, M., White, J. R., McKinney, B., Bentz, D., Mohamed, A., Uebelherr, J., & Goodin, K., 2017. Assessing Adaptation Strategies for Extreme Heat: A Public Health Evaluation of Cooling Centers in Maricopa County, Arizona. *Weather, Climate, and Society*, 9, 71-80. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-16-0033.1>.
- Chirisa, I., E. Bandaiko, E. Mazhindu, N. Audrey Kwangwama and G. Chikowore, 2016. Building resilient infrastructure in the face of climate change in African cities: Scope, potentiality and challenges. *Development Southern Africa*, 33, 113-127, <https://doi.org/10.1080/0376835X.2015.1113122>.
- CoJ, 2021. City of Johannesburg Climate Action Plan. City of Johannesburg, Environment and Infrastructure Services Department, 169 pp.
- Costa, H., Floater, G., Hooyberghs, H., Verbeke, S. and De Ridder, K., 2016. Climate change, heat stress and labour productivity: A cost methodology for city economies. Working Paper No. 248, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics.
- Day, E., S. Fankhauser, N. Kingsmill, H. Costa and A. Mavrogianni, 2019. Upholding labour productivity under climate change: an assessment of adaptation options. *Climate Policy*, 19, 367-385, <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1517640>.
- Dodman, D., B. Hayward, M. Pelling, V. Castan Broto, W. Chow, E. Chu, R. Dawson, L. Khirfan, T. McPhearson, A. Prakash, Y. Zheng, and G. Ziervogel, 2022. Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- EEA, 2020. Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change. European Environment Agency, EEA Report 12/2020, 186 pp., doi:10.2800/324620.
- EMM, 2015. Climate Change Response Strategy. Ekurhuleni Metropolitan Municipality, 61 pp.
- Erell, E. and B. Zhou, 2022. The effect of increasing surface cover vegetation on urban microclimate and energy demand for building heating and cooling. *Building and Environment*, 213, 108867, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108867>.

-
- Espino-Reyes, C.A., Ortega-Avila, N., Rodriguez-Muñoz, N.A., 2020. Energy Savings on an Industrial Building in Different Climate Zones: Envelope Analysis and PV System Implementation. *Sustainability*, 12, 1391. <https://doi.org/10.3390/su12041391>.
- Fares, S., Paoletti, E., Calfapietra, C., Mikkelsen, T.N., Samson, R., Le Thiec, D., 2017. Carbon Sequestration by Urban Trees. *The Urban Forest. Future City*, vol 7. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_4.
- Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Le Tertre A, Frayssinet P, Bessemoulin P, Laurent F, De Crouy-Chanel P, Jouglu E, Hémon D., 2008. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiol.* 37, 309-317. doi: 10.1093/ije/dym253.
- GCA, 2021. State and trends in adaptation: How adaptation can make Africa safer, greener and more prosperous in a warming world. Global Center on Adaptation, 574 pp., available from <https://gca.org/reports/state-and-trends-in-adaptation-report-2021/>.
- GIEC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Gilbert, J., M. Ricci-Jürgensen, A. Ramola, 2020a. Benefits of compost and anaerobic digestate when applied to soil. International Solid Waste Association, 39 pp.
- Gilbert, J., M. Ricci-Jürgensen, A. Ramola, 2020b. Quantifying the benefits of applying quality compost to soil. International Solid Waste Association, 35 pp.
- Hooyberghs, H., S. Verbeke, D. Lauwaet, H. Costa, G. Floater, and K. De Ridder, 2017. Influence of climate change on summer cooling costs and heat stress in urban office buildings. *Climatic Change*, 144, 721-735.
- Kaoma, H. and C.M. Shackleton, 2014. Collection of urban tree products by households in poorer residential areas of three South African towns. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13, 244-252, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.02.002>.
- Kareem, B. S. Lwasa, D. Tugume, P. Mukwaya, J. Walubwa, S. Owuor, P. Kasaija, H. Sseviiri, G. Nsangi and D. Byarugaba, 2020. Pathways for resilience to climate change in African cities. *Environ. Res. Lett.*, 15, 073002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7951>.
- Kim, K., Jung, J., Schollaert, C., & Spector, J. T., 2021. A Comparative Assessment of Cooling Center Preparedness across Twenty-Five U.S. Cities. *International journal of environmental research and public health*, 18, 4801. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094801>.
- Kimemia, D., van Niekerk, A., Annegarn, H. and Seedat, M., 2020. Passive cooling for thermal comfort in informal housing. *Journal of Energy in Southern Africa*, 31, 28–39. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2020/v31i1a7689>.
- Kjellstrom, T., Lemke, B., Hyatt, O. and Otto, M., 2014. Climate change and occupational health: A South African perspective. *South African Medical Journal*, 104, 586. <http://www.samj.org.za/index.php/samj/article/view/8646>.

-
- Lenzholzer, S., 2015. *Weather in the city: How design shapes the urban climate*. nai010 publishers, the Netherlands, 224 pp.
- Manyuchi, A.E., Vogel, C., Wright, C.Y. and Erasmus, B., 2022. The self-reported human health effects associated with heat exposure in Agincourt sub-district of South Africa. *Humanit Soc Sci Commun* 9, 50. <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01063-1>.
- Matandirotya, N.R., Cilliers, D.P., Burger, R.P., Pauw, C., Piketh, S.J., 2021. Risks of indoor overheating in low-cost dwellings on the South African Lowveld. In: Oguge, N., Ayal, D., Adeleke, L., da Silva, I. (eds): *African Handbook of Climate Change Adaptation*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45106-6_123.
- McDonald, R., T. Kroeger, T. Boucher, W. Longzhu, R. Salem, J. Adams, S. Bassett, M. Edgecomb, S. Garg, 2016. *Planting Healthy Air. A global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat*. The Nature Conservancy, 128 pp., available at https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/20160825_PHA_Report_Final.pdf.
- Mutezo, G., Mulopo, J., Chirambo, D., 2021. Climate Change Adaptation: Opportunities for Increased Material Recycling Facilities in African Cities. In: Oguge, N., Ayal, D., Adeleke, L., da Silva, I. (eds) *African Handbook of Climate Change Adaptation*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45106-6_61.
- Nana, M., K. Coetzer and C. Vogel, 2019. Facing the heat: initial probing of the City of Johannesburg's heat-health planning. *South African Geographical Journal*, 101, 253-268, <https://doi.org/10.1080/03736245.2019.1599412>.
- Nayak, S.G, S. Shrestha, S.C. Sheridan, W.-H. Hsu, N.A. Muscatiello, C.I. Pantea, Z. Ross, P.L. Kinney, M. Zdeb, S.-A. A. Hwang, S. Lin, 2019. Accessibility of cooling centers to heat-vulnerable populations in New York State, *Journal of Transport & Health*, 14, 100563, <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.05.002>.
- Ncongwane, K.P., Botai, J.O., Sivakumar, V., Botai, C.M., Adeola, A.M. 2021. Characteristics and Long-Term Trends of Heat Stress for South Africa. *Sustainability*, 13, 13249. <https://doi.org/10.3390/su132313249>.
- Ochoa, J.M., Marincic, I., Coch, H., 2022. The Use of Vegetation in Hot Arid Climates for Sustainable Urban Environments. In: Sayigh, A., Trombadore, A. (eds) *The Importance of Greenery in Sustainable Buildings*. Innovative Renewable Energy. Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-68556-0_12.
- OMS, 2021. *Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention.*, Copenhagen: World Health Organisation Regional Office for Europe, 176 pp. Available from <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/339462/9789289055406-eng.pdf>.
- Semenza, J.C., Rubin, C.H, Falter, K.H., Selanikio, J.D., Flanders, W.D., Howe, H.L., Wilhelm, J.L., 1996. Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *N. Engl. J. Med.* 335, 84–90.
- Stewart, I.D. and G. Mills, 2021. *The urban heat island. A guidebook*. Elsevier, the Netherlands, 171 pp.
- Takebayashi, H. and M. Moriyama, 2020. *Adaptation measures for urban heat islands*. Academic Press, London, 181 pp.

-
- Trisos, C.H., I.O. Adelekan, E. Totin, A. Ayanlade, J. Efitre, A. Gameda, K. Kalaba, C. Lennard, C. Masao, Y. Mgaya, G. Ngaruiya, D. Olago, N.P. Simpson, and S. Zakieldeen, 2022. Africa. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löscke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- UNaLab, 2020. Nature based solutions: Technical Handbook - Part II. UNaLab project, 112 pp., available from <https://unalab.eu/en/documents/unalab-technical-handbook-nature-based-solutions>.
- van Weele, G., K. Euler-van Hulst, J. Loubser, M. Nijboer and R. Taviv, 2020. Gauteng City Region Over-arching Climate Change Response Strategy and Action Plan. Gauteng Department of Agriculture and Rural Development, 140 pp.
- Watanabe, S., K. Nagano, J. Ishii, T. Horikoshi, 2014. Evaluation of outdoor thermal comfort in sunlight, building shade, and pergola shade during summer in a humid subtropical region. *Building and Environment*, 82, 556-565, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.002>.
- Wright, C.Y., F. Dominick, T. Kapwata, S. Bidassey-Manilal, J.C. Engelbrecht, H. Stich, A. Mathee, M. Matoane, 2019. Socio-economic, infrastructural and health-related risk factors associated with adverse heat health effects reportedly experienced during hot weather in South Africa. *Pan Afr Med J*, 34, 40-40, doi:10.11604/pamj.2019.34.40.17569.
- Ziervogel, G., J. Enqvist, L. Metelerkamp and J. van Breda, 2021. Supporting transformative climate adaptation: community-level capacity building and knowledge co-creation in South Africa. *Climate Policy*, 0, 1-16, <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1863180>.
- Ziter, C. D., Pedersen, E. J., Kucharik, C. J. and Turner, M. G., 2019. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *PNAS*, 116, 7575-7580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116>.