

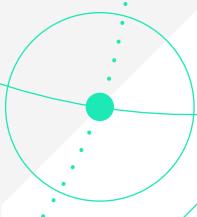
Comment l'IA peut vous aider à lutter contre les îlots de chaleur urbains ?

0
2

sia-partners.com



@SiaPartners



Sommaire

- | | | |
|----|---|--|
| 5 | ○ | 1. Le phénomène d'îlots de chaleur urbains |
| 8 | ○ | 2. Les leviers pour lutter contre les ICU |
| 11 | ○ | 3. Notre accompagnement « augmenté » à destination des collectivités, combinant IA et apport de conseil |

Préambule.

L'été 2022 a été marqué par quatre vagues successives de forte chaleur, associées à une situation de sécheresse particulièrement préoccupante à l'échelle de la France – le mois de juillet est ainsi le mois de juillet le plus sec jamais enregistré par nos dispositifs de mesures, selon Météo-France. Les nombreuses catastrophes qui découlent de cette situation – incendies, épuisement des sources d'eau, baisse des rendements agricoles - doivent nous servir de signal d'alerte collectif : **la lutte contre le dérèglement climatique est le combat de notre siècle.**

Les politiques d'**atténuation** des émissions de gaz à effet de serre (GES) sont bien entendu primordiales pour limiter le réchauffement du climat mondial «*nettement en-dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels*» selon les termes de l'Accord de Paris. Les événements de ces dernières semaines représentent cependant une piqûre de rappel douloureuse sur le second volet de la lutte contre le dérèglement climatique : **l'adaptation**, c'est-à-dire les mesures visant à amoindrir la vulnérabilité de nos systèmes à ses effets. Avec une température mondiale supérieure de 1,1°C aux niveaux préindustriels selon le rapport de l'Organisation météorologique mondiale sur l'état du climat mondial en 2021¹, nous percevons déjà les effets de ce dérèglement.

À l'échelle locale, le phénomène physique des îlots de chaleur urbains (ICU) consiste en **une élévation des températures de l'air et de surface au sein des agglomérations, au niveau de la rue ou du quartier, par rapport aux espaces périphériques ou ruraux**. Il s'agit d'un microclimat urbain plus chaud, nourri par des apports de chaleur anthropiques et naturels.

D'après une étude publiée par des climatologues de la Drias - Météo-France le 16 juin 2022² qui identifie les villes françaises qui souffriront le plus de températures estivales particulièrement élevées à partir de 2040, **quarante-cinq d'entre elles connaîtront au moins dix journées supplémentaires anormalement chaudes au cours de l'été**. Pour ne pas devenir des repoussoirs, nos centres-villes doivent s'adapter à ce phénomène bien identifié et particulièrement désagréable lors des périodes de chaleur intense - qui, rappelons-le, sont appelées à augmenter en fréquence et en intensité du fait du réchauffement climatique.

Il incombe donc aux pouvoirs publics locaux, et particulièrement aux communes et aux intercommunalités, chargées d'établir les différents schémas d'aménagement urbains, de prendre la mesure de l'accentuation de ce phénomène à travers des actions concrètes et rapides à engager (changement de revêtement de sol, peinture claire pour les murs et toitures, végétalisation de façades, aménagement de points d'eau et mise à disposition d'équipements techniques type brumisateurs / ombrières, etc.) même si les effets peuvent se constater sur le plus long terme.

Pionnier du consulting 4.0, Sia Partners est un cabinet de conseil français qui investit massivement dans la data science et explore les possibilités offertes par l'intelligence artificielle pour répondre aux cas d'usage et aux besoins de ses clients. Face aux enjeux climatiques, Sia Partners enrichit notamment son offre de services de manière à accompagner les acteurs privés et publics dans l'établissement de leur stratégie de transition. A ce titre, nous avons développé une méthodologie d'analyse des images satellites visant à identifier et à caractériser les îlots de chaleur urbains pour mieux appréhender l'existant et éclairer les prises de décisions.

Dans cet article, nous présenterons dans un premier temps le phénomène des îlots de chaleur urbains puis détaillerons les leviers d'action possibles eu égard aux contextes urbains, géographiques et politiques. Enfin, nous expliquerons comment une mobilisation efficace de l'intelligence artificielle peut permettre de mieux appréhender la situation à l'échelle d'un territoire et d'appuyer la prise de décision politique pour l'adresser.

(1) Source (en anglais) :
<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>

(2) Publication des résultats de l'étude dans Le Figaro :
<https://www.lefigaro.fr/sciences/les-villes-les-plus-menacees-par-l-explosion-des-jours-et-des-nuits-de-canicule-20220616>

1. Le phénomène d'îlots de chaleur urbains.

Un îlot de chaleur urbain (ICU) est un effet de dôme thermique, qui se traduit par des élévations de températures significatives au niveau local ("microclimat urbain"), au niveau de l'air et des surfaces, par rapport aux milieux moins urbanisés (périphéries et zones rurales).

Ces phénomènes se font particulièrement ressentir lors des vagues de chaleur de l'été. Ils ont des origines multiples, diversifiées et qui peuvent se combiner.

Les aires urbaines, de par leur forme, les matériaux utilisés, et leur densité, favorisent les échanges thermiques par rayonnement, par induction et par convection. La combinaison de

plusieurs de ces types d'échange de chaleur entraîne la création de phénomènes d'ICU.

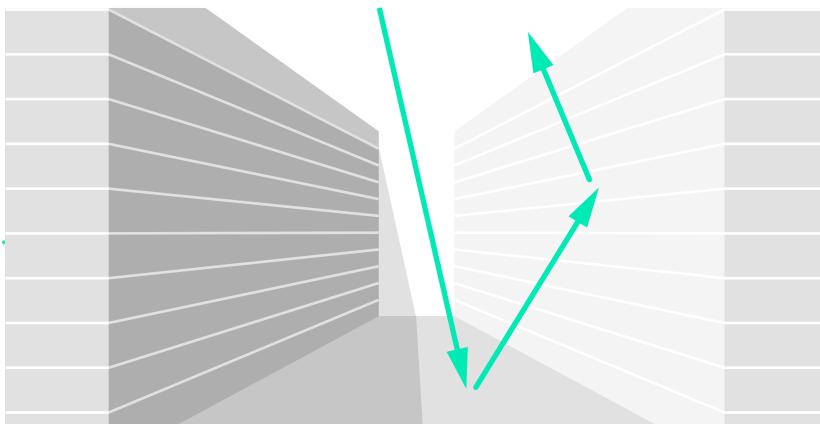
Le premier type d'échange thermique urbain est le **transfert par rayonnement**. L'énergie thermique est renvoyée par les différentes surfaces composant l'espace urbain (les toits, les façades, les voiries...). En ville, il y a une multitude de surfaces propices à la réflexion des rayons. Ainsi, un bâtiment réfléchissant un rayonnement peut le renvoyer sur un autre bâtiment et ainsi de suite. Les surfaces urbaines absorbent donc les rayonnements non seulement du soleil, mais aussi des autres constructions aux alentours, intensifiant l'effet de chaleur.

Les **transferts par convection et conduction** expliquent également l'augmentation de la température en ville.

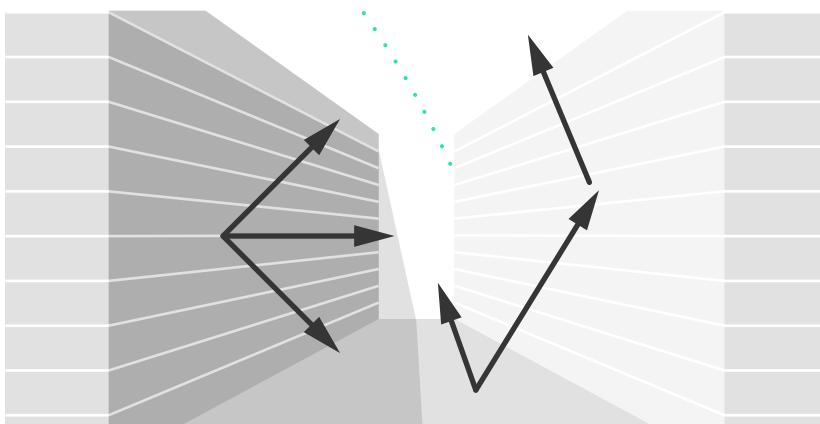
Le phénomène de convection se traduit par de l'air chauffé par la ville qui s'élève, car il se dilate et devient alors plus léger que l'air froid. Il crée ainsi un dôme de chaleur au-dessus de la ville et empêche l'air frais de la nuit de pénétrer dans l'aire urbaine. La rugosité de la ville accentue le phénomène, puisque le vent ne peut pas s'engouffrer dans les rues et refroidir l'air chaud.

L'autre phénomène est celui de la conduction, qui est la chaleur véhiculée dans les matériaux à partir de sources de chaleur externe (l'ensoleillement) ou interne (radiateurs par exemple). Ainsi, un mur chauffé par le soleil va conduire la chaleur à travers le matériau du mur. Cela augmente l'impression de chaleur au sein de certains bâtiments exposés au soleil. Ces surfaces absorbent plus

RAYONNEMENT SOLAIRE EN VILLE³



RAYONNEMENT INFRAROUGE EN VILLE³

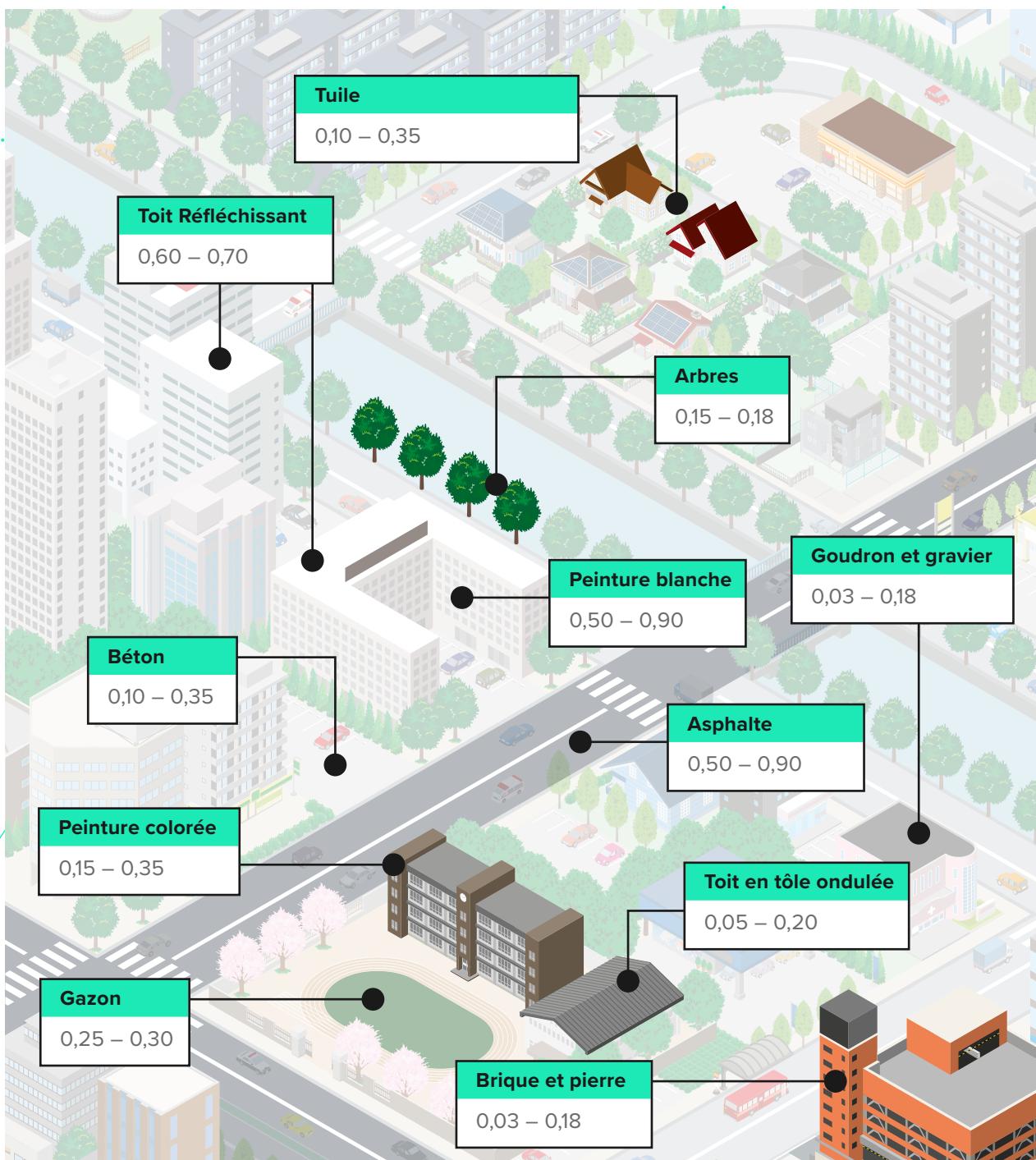


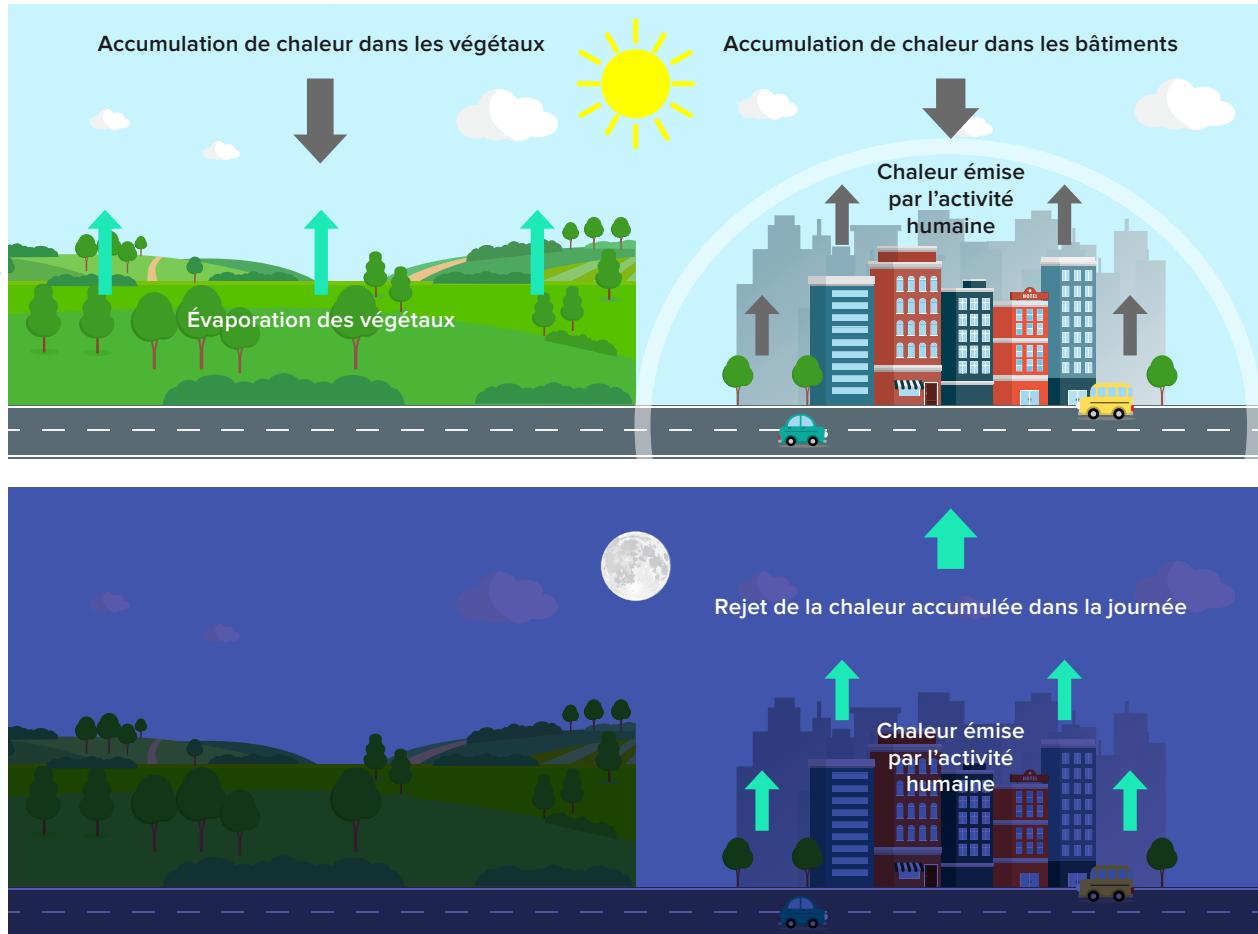
ou moins bien une partie de cette énergie et restituent le reste par rayonnement vers d'autres façades : il s'agit de l'inertie thermique. En majorité, en ville, les matériaux des bâtiments sont thermiquement inertes, c'est-à-dire qu'ils prennent du temps à absorber la chaleur mais ils sont également longs à la restituer.

En plus de l'inertie thermique, on retrouve le phénomène de l'albédo qui représente l'énergie solaire réfléchie par rapport à l'énergie solaire reçue. Plus un albédo est faible, plus il absorbe l'énergie solaire. En ville, les matériaux comme le goudron, le bitume ou les briques ont un albédo très faible, ce qui signifie qu'ils retiennent

une grande quantité de chaleur à leur surface. Ainsi les deux phénomènes combinés de l'albédo et de l'inertie thermique peuvent conduire à la la création d'un îlot de chaleur urbain : les matériaux d'une ville emmagasinent énormément de chaleur et la libèrent la nuit lorsque la température a baissé.

MESURE DE L'ALBÉDO EN VILLE⁴





Enfin, **les sources anthropiques** constituent également des facteurs explicatifs du transport de chaleur. Il s'agit de la chaleur produite par l'homme de manière directe ou indirecte (par l'usage des transports, l'industrie, le chauffage, la climatisation, etc.).

À ces mécanismes de transfert de chaleur, s'ajoutent d'autres éléments-clés qui accentuent le phénomène.

Celui qui paraît évident tant il est au cœur des sujets aujourd'hui lorsque l'on parle d'urbanisation et de chaleur est le manque de végétal en ville. En effet, le végétal joue un rôle important pour rafraîchir, en raison de l'**ombre portée**, de la **photosynthèse** qui capte une partie du rayonnement solaire, et de l'**évapotranspiration**. Le dernier phénomène est l'évaporation de l'eau et la transpiration des végétaux ce qui permet un rafraîchissement de l'environnement. Or, en milieu urbain, l'imperméabilité du sol qui amène l'eau vers les lieux d'assainissement

ne laisse pas le temps à l'évaporation et les végétaux n'ont pas le temps d'absorber de l'eau qui serait transpirée ensuite.

La forme urbaine joue aussi un rôle dans la formation des ICU. Plus le vent est fort, plus l'écoulement de l'air est efficace, plus la sensation de fraîcheur est importante. À l'inverse, un vent faible va entraîner une stagnation de la chaleur en ville. Ainsi, certaines formes architecturales vont modifier le régime des vents, créant des zones abritées très inconfortables en été comme des rues très étroites et encaissées qui empêchent la circulation de l'air. Des villes comme Marseille ont donc intégré ces réflexions dans leur organisation urbaine comme l'illustre le quartier Euroméditerranée qui a été conçu pour laisser passer le vent l'été tout en empêchant le froid du Mistral l'hiver. Cela passe par l'implantation de bâtiments avec des **formes et hauteurs différentes**, l'utilisation de différents types

de bâtiments (logements, bureaux, équipements sportifs ou culturels...). Les brise-soleils sont aussi efficaces contre le vent en hiver. Ainsi, l'aménagement urbain permet d'améliorer le confort des habitants tout en agissant sur l'effet de chaleur urbaine.

Par ailleurs, il faut noter que le changement climatique ne constitue pas en lui-même une cause du phénomène d'ICU, mais **un facteur susceptible d'aggraver son intensité**. Les collectivités doivent donc s'engager dans la création d'îlots de fraîcheur afin de s'adapter à un climat futur avec des vagues de chaleur de plus en plus fréquentes et sévères.

En synthèse, les îlots de chaleur urbains sont la conséquence d'un grand nombre de phénomènes physiques couplés aux impacts de l'activité humaine. À l'heure où les vagues de chaleur s'accentuent en Europe, les collectivités locales sont en première ligne pour agir face aux ICU.

2. Les leviers pour lutter contre les ICU.

Après avoir compris comment se forment les îlots de chaleur, il est intéressant de connaître les méthodes pour les atténuer. La formation d'ICU est causée par des facteurs multiples et souvent superposés. La lutte contre ce phénomène appelle une série de réponses, adaptées au contexte et à la physionomie propres à chaque ICU. Les leviers à mobiliser sont nombreux et peuvent être combinés pour une meilleure efficacité.

Différents leviers peuvent contribuer à l'atténuation du phénomène, dont l'utilisation de matériaux de construction adaptés, les formes urbaines, la présence de végétation, et les usages raisonnés de l'énergie dans les bâtiments.

Les caractéristiques et **propriétés physiques des matériaux** urbains (inertie thermique, albédo) influencent grandement l'effet d'îlot de chaleur. L'une des possibilités pour réduire les ICU est donc de sélectionner d'autres matériaux pour les infrastructures et les bâtiments.

Afin d'augmenter l'albédo des revêtements de voiries et autres infrastruc-

tures urbaines, plusieurs solutions peuvent être envisagées dont par exemple :

- **Le pavé inversé** : au lieu de recouvrir une couche de granulats par du bitume, on étend une fine couche de bitume sur laquelle est disposé le « granulat à haut albédo ».

- **L'asphalte et le béton coloré** : Cette technique consiste en l'ajout de pigments afin d'augmenter le pouvoir réfléchissant des matériaux. Cette technique est notamment utilisée massivement à Los Angeles, aux États-Unis (objectif de repeindre en blanc 400 rues d'ici les JO de 2028).

CARTE DE TEMPÉRATURE ET CARTE DE VÉGÉTATION D'UN QUARTIER À CLERMONT-FERRAND

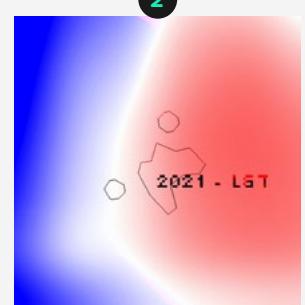
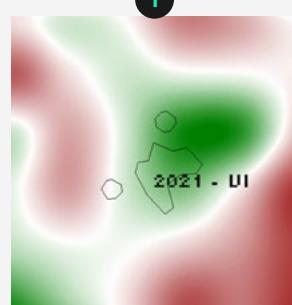
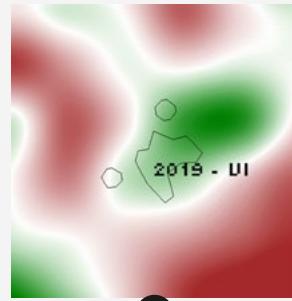
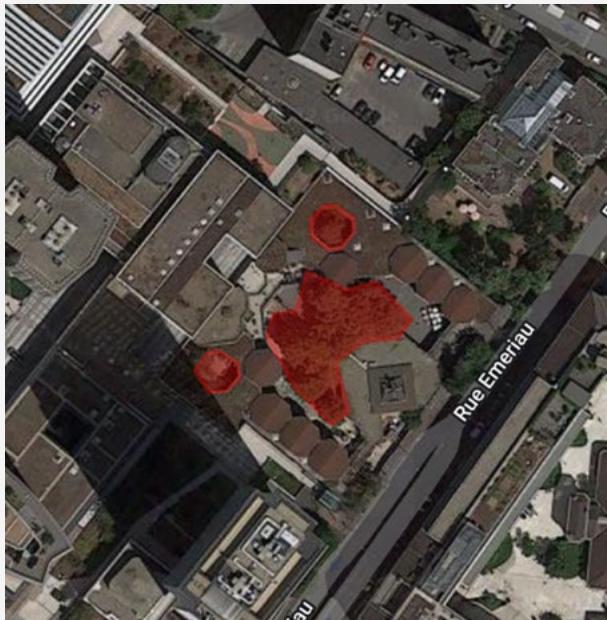
LE PARC, CARACTÉRISÉ PAR UN INDICE DE VÉGÉTATION IMPORTANT (COULEUR VERTE À DROITE) ENGENDRE UN ÎLOT DE FRAÎCHEUR CARACTÉRISÉ PAR UNE TEMPÉRATURE RELATIVE BASSE (COULEUR BLEUE À GAUCHE).



IMAGE SATELLITE DE L'ÉCOLE EMERIAU

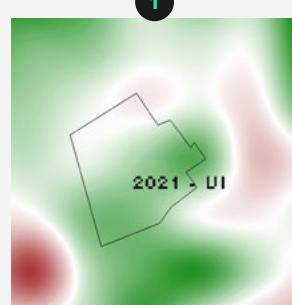
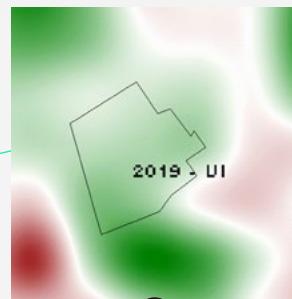
UNE DES ÉCOLES OASIS DU PROJET EUROPÉEN FEDER ACTION URBaine INNOVANTE.

1 CARTE DE L'INDICE URBAIN ET 2 DE LA TEMPÉRATURE LOCALE AUTOUR DE L'ÉCOLE AVANT (2019) ET APRÈS (2021) LES TRAVAUX.
SUITE AUX TRAVAUX, L'INDICE URBAIN DIMINUE AUTOUR DE L'ÉCOLE (DIMINUTION DES ZONES MARRONS À FORT INDICE URBAIN)
ET LA TEMPÉRATURE DIMINUE (PASSAGE DU ROUGE AU BLEU).

**IMAGE SATELLITE DE L'ÉCOLE TANDOU**

UNE DES ÉCOLES OASIS DU PROJET EUROPÉEN FEDER ACTION URBaine INNOVANTE.

1 CARTE DE L'INDICE URBAIN ET 2 DE LA TEMPÉRATURE LOCALE AUTOUR DE L'ÉCOLE AVANT (2019) ET APRÈS (2021) LES TRAVAUX.
SUITE AUX TRAVAUX, L'INDICE URBAIN DIMINUE AUTOUR DE L'ÉCOLE (DIMINUTION DES ZONES MARRONS À FORT INDICE URBAIN)
ET LA TEMPÉRATURE DIMINUE (PASSAGE DU ROUGE AU BLEU).



Concernant les matériaux de construction des bâtiments, il est usuel d'utiliser en France des façades claires, mais des toits foncés avec un faible albédo. Par exemple, à Paris, les bâtiments construits avant 1914 présentent des façades claires donc réfléchissantes qui permettent de réduire la température de surface des murs. En revanche, les toits en zinc ou les toits terrasses avec des revêtements de type bitumineux atteignent des températures supérieures à 50°C en plein soleil et participent à la formation de l'ICU.

L'idéal est donc d'employer des matériaux **de couleur claire** pour les façades et des matériaux réfléchissants pour les toitures non végétalisées.

Le **modèle d'urbanisation** influence lui aussi l'effet d'ICU. Dans le cadre de la lutte contre ce phénomène, une trop forte densité bâtie n'est pas souhaitable car elle laisse peu de place aux espaces verts, multiplie les sources de chaleur et crée des espaces confinés qui stockent la chaleur. Or, cette forme urbaine est la plus répandue dans les centres-villes anciens européens et est de plus favorisée par le principe de densification.

La lutte contre les ICU nous invite donc à **utiliser les caractéristiques géographiques** (vent dominant, pente, ensoleillement...) de chaque ville dans l'objectif de diminuer leur rugosité (c'est-à-dire diminuer les obstacles) et ainsi permettre une meilleure circulation de l'air. Les urbanistes doivent prioriser ces caractéristiques dans les critères de conception des nouveaux quartiers et dans la rénovation urbaine.

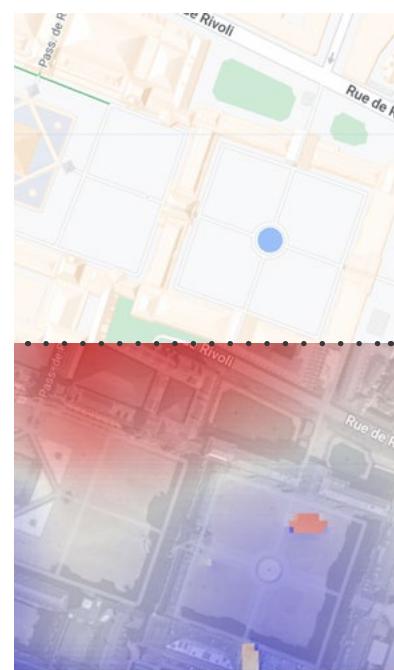
Une autre solution d'aménagement des plus intéressantes pour lutter contre les ICU est la **réintroduction d'espaces naturels** et plus largement de végétal en ville. Elle permet tout d'abord d'**augmenter le taux d'humidité de l'air** et de le rafraîchir grâce à la transpiration des plantes, mais aussi de **gérer les eaux pluviales**, qui, plutôt que de ruisseler sur des surfaces imperméabilisées (causant des inondations pour les cas les plus

extrêmes), restent dans le sol, nourrissent les plantes et s'évaporent, rafraîchissant l'atmosphère. Cette solution présente donc un double mérite : lutter contre les ICU et diminuer les risques liés aux phénomènes climatiques extrêmes, accentués par le dérèglement climatique. L'introduction de végétal en ville est possible de plusieurs manières : création de nouveaux espaces verts, alignement d'arbres le long des voiries, végétalisation des toitures et des murs des bâtiments publics, etc.

L'eau constitue un autre élément essentiel dans les mécanismes de rafraîchissement de la ville, non seulement car elle alimente l'évapotranspiration des plantes, mais aussi en tant que telle, sous forme de fontaines, de cours ou de plan d'eau, pour l'**évaporation qu'elle génère**. Si les plans d'eau permettent de rafraîchir l'air grâce à la consommation d'énergie de l'évaporation, les fontaines peuvent apporter un effet supplémentaire. Les gouttelettes des jets d'eau sont alors transportées sous l'action du

COUR CARRÉE MUSÉE DU LOUVRE À PARIS

CARTE GOOGLE MAP ET CARTE DE TEMPÉRATURE.
AU-DESSUS DES FONTAINES LA TEMPÉRATURE
EST PLUS BASSE QU'AUX ALENTOURS.



vent provoquant ainsi un **effet « brûmisateur »**. Il convient néanmoins d'étudier les ressources en eau disponibles avant de déployer de nouveaux points d'eau en ville, afin de ne pas accentuer le stress hydrique en cas de sécheresses extrêmes.

Enfin, les efforts pour maîtriser les sources anthropiques de chaleur urbaine constituent un défi collectif majeur. En effet, le **potentiel de réduction** des moyens de transport individuels et **émetteurs de chaleur** est important. Au niveau du bâtiment, diverses stratégies, telles l'efficacité énergétique et l'architecture bioclimatique, peuvent réduire substantiellement les besoins de climatisation.

Les axes potentiellement activables sont donc multiples, complémentaires et spécifiques à chaque ville voire quartier. Afin d'aboutir au diagnostic le plus précis, il convient donc de mener des études locales prenant en compte les spécificités de chaque espace. Le point de départ de telles études est toujours le même : l'identification et la caractérisation des ICU.

3. Notre accompagnement « augmenté » à destination des collectivités, combinant IA et apport de conseil.

Les îlots de chaleur sont donc causés par des facteurs multiples, et leur atténuation nécessite une méthode précise et efficace. L'exploitation de l'IA permet d'obtenir un diagnostic des îlots de chaleur urbain et peut aider les acteurs locaux à prendre les décisions adéquates pour lutter contre ce phénomène. Nous proposons une approche méthodologique pour vous appuyer à cibler les actions à plus fort impact grâce à :

- L'analyse d'images satellites pour détecter les zones à plus forte température en surface
- La caractérisation des îlots de chaleur urbain, grâce au croisement avec des données externes
- L'appui et le conseil pour inventorier les leviers d'action et les prioriser



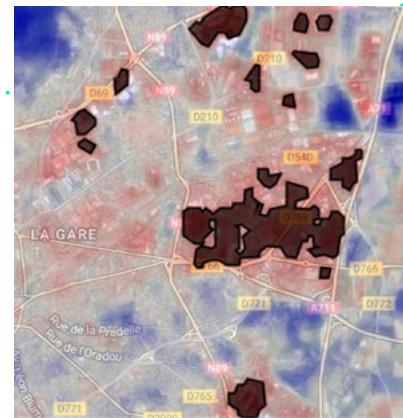


Comment nous détectons les îlots de chaleur urbains grâce aux images satellites

Afin de détecter les îlots de chaleur, nous utilisons les images satellites émises par le satellite d'observation Landsat 8. Il s'agit d'images multispectrales permettant une résolution spatiale de trente mètres. Grâce aux multiples bandes de fréquences, il est possible de calculer la *Land Surface Temperature (LST)* de l'image étudiée. Cette carte indiquant la température à la surface du sol ne suffit pas à identifier à elle seule les îlots de chaleur urbains. Pour cela, il faut définir une **échelle de température relative** et appliquer des **corrections** comme le montre l'exemple ci-dessous du centre-ville de Clermont-Ferrand.

CARTE DE LA LST
À CLERMONT-FERRAND.

CARTE ORIGINALE ET CARTE MODIFIÉE.
LE ROUGE CORRESPOND À UNE TEMPÉRATURE
RELATIVE ÉLEVÉE, LE BLEU CORRESPOND
À UNE TEMPÉRATURE RELATIVE BASSE.



Nous présenterons notre technique et les outils utilisés de manière plus détaillée dans un second article à venir.

Comment nous caractérisons les îlots de chaleur afin de les comprendre, les comparer et les hiérarchiser

Nous apportons une véritable valeur ajoutée par la caractérisation des îlots de chaleur, c'est-à-dire leur description au plus fin niveau de détail. Chaque îlot de chaleur est spécifique et l'analyse et le traitement de l'imagerie satellite permet de cerner ses causes.

Au niveau d'un bassin de vie, le fait de caractériser plusieurs îlots de chaleur permet également de les hiérarchiser selon leur impact, de les associer en fonction d'éventuelles causes communes et donc de mettre en place des solutions d'ensemble.

La caractérisation des îlots de chaleur repose sur des **variables physiques** calculées à partir des images satel-

lites et les coordonnées des îlots et des **variables explicatives** en utilisant des données annexes. Dans le tableau suivant, nous indiquons des exemples concrets de variables que nous pouvons mesurer :

EXEMPLE DE MESURES DE VARIABLES

Variables physiques	Variables explicatives
.Taille de l'îlot de chaleur urbain	.Taux de zones végétalisables et zones protégées
.Coordonnées géographiques	.Distances aux routes
.Température maximale	.Densité urbaine
.Différence de température avec les zones proches de l'ICU	.Types des bâtiments
.Taux et types de végétation	.Statistiques sur les catégories énergétiques des bâtiments
.Topologie	.Score de vulnérabilité*
....	...

Le score de vulnérabilité d'un îlot de chaleur est calculé en croisant les données d'exposition d'une zone aux ICU avec des variables socio-démographiques sur la sensibilité de la zone et sa capacité d'adaptation afin d'obtenir un réel impact et de mieux prioriser les îlots entre eux.

Comment nous identifions les leviers d'action spécifiques aux îlots de chaleur identifiés

Une fois les îlots de chaleur urbains détectés et caractérisés, notre rôle est de vous aider à déterminer la réponse la plus adaptée pour en atténuer les effets. Alors que chaque îlot de chaleur urbain possède des caractéristiques spécifiques, il existe une multitude de leviers combinables pour lutter contre les îlots de chaleur urbains.

Nous pouvons donc vous appuyer dans l'élaboration d'une feuille de route de lutte contre les îlots de chaleur urbains au niveau d'un bassin de vie. Nous

vous aidons ainsi à étudier la faisabilité et l'impact des différents leviers eu égard à la morphologie urbaine et aux caractéristiques environnementales, puis à construire un plan comprenant des actions **mesurables** (que ce soit en termes de température ou de coût financier à supporter pour la mener), **hiérarchisées** (par ordre d'efficacité) avec des jalons intermédiaires pour en assurer un suivi simple et rigoureux.





Conclusion.

Le phénomène d'îlot de chaleur dû aux différents transferts de chaleur urbain est variable en fonction de différentes spécificités, notamment géographiques.

En effet, les caractéristiques techniques d'une zone comme le sol, les matériaux de construction, l'architecture ou encore la population influent sur ces transferts de chaleur.

Les leviers qui permettraient de lutter contre les ICU cités dans cet article sont des solutions efficaces mais pas nécessairement tous appropriés à une situation donnée.

A l'aide de l'intelligence artificielle, Sia-Partners propose aux acteurs publics et privés soucieux de ce phénomène de détecter et d'analyser leurs îlots de chaleur pour ensuite définir une série de solutions adaptées à chaque situation.

Grâce à notre technologie, nous pouvons également communiquer des informations concrètes aux municipalités leur permettant de mieux cerner les secteurs de populations à risque, pour, en particulier, orienter les futurs choix urbanistiques, et aussi adapter une campagne de sensibilisation face à ce phénomène.

- Allemagne
- Arabie Saoudite
- Australie
- Belgique
- Canada
- Émirats arabes unis
- États-Unis
- France
- Hong Kong SAR
- Irlande
- Italie
- Japon
- Luxembourg
- Maroc
- Panama*
- Pays Bas
- Qatar
- Royaume-Uni
- Singapour

* Sia Partners Panama, membre du réseau Sia Partners

À propos de Sia Partners.

Pionnier du Consulting 4.0, Sia Partners réinvente le métier du conseil et apporte un regard innovant et des résultats concrets à ses clients. Nous avons développé des solutions basées sur l'Intelligence Artificielle et le design pour augmenter l'impact de nos missions de conseil. Notre présence globale et notre expertise dans plus de 30 secteurs et services nous permettent d'accompagner nos clients dans le monde entier. À travers notre démarche «Consulting for Good», nous mettons notre expertise au service des objectifs RSE de nos clients et faisons du développement durable un levier de performance pour nos clients.