

# Halte à la surchauffe en ville !

*Diagnostiquer les îlots de chaleur urbains*



1

## CAHIER PÉDAGOGIQUE

Pour une meilleure compréhension globale du phénomène d'îlot de chaleur

2

## CAHIER DIAGNOSTIC

**Premier portrait de la sensibilité d'Aix-Marseille-Provence Métropole face au phénomène d'îlot de chaleur**

3

## CAHIER BOÎTE À OUTILS

Conseils pour limiter les îlots de Chaleur Urbains sur le territoire métropolitain et s'y adapter

Ce document constitue le 2<sup>ème</sup> cahier du guide pratique consacré au phénomène d'îlot de chaleur urbain, élaboré par l'AUPA dans le cadre du Plan Climat Air Énergie Métropolitain de la Métropole Aix-Marseille-Provence.

## SOMMAIRE

Comment diagnostiquer les ICU ?	p.3
Première approche du phénomène d'ICU à l'échelle d'Aix-Marseille-Provence	p.11
Un contexte climatique favorable à la chaleur	
Une métropole vulnérable face au phénomène d'ICU	
Analyse de la sensibilité des espaces urbanisés métropolitains à l'effet d'ICU	p.22
Les centralités anciennes	
L'habitat collectif	
L'habitat individuel	
Urbanisation diffuse et mitage	
Espaces d'activités économiques	
Equipements et infrastructures	
Conclusion	p.35

# Introduction

L'adaptation du territoire aux Ilots de Chaleur Urbains (ICU) est un enjeu majeur pour garantir le confort thermique dans les espaces urbains de la Métropole. La mise en place d'actions de rafraîchissement efficaces nécessite **un diagnostic** préalable permettant d'identifier les secteurs plus ou moins soumis au phénomène d'ICU et les raisons de cette surchauffe. Les analyses menées pourront éclairer les décisions de planification ou orienter les opérations d'aménagement.

Ce 2<sup>ème</sup> cahier n'a pas vocation à constituer un diagnostic complet mais plutôt à dresser un premier état des lieux du phénomène d'ICU à l'échelle métropolitaine. **Son objectif est double** :

- Présenter les principales **méthodes existantes** permettant de diagnostiquer les îlots de chaleur urbains et identifier les **données disponibles** à ce jour sur la métropole pouvant alimenter leur réalisation,
- Apporter des premiers **éléments d'éclairage** sur le phénomène d'**ICU à l'échelle de la métropole AMP** et par grandes catégories d'espaces urbanisés.

# Comment diagnostiquer les ICU ?

Diagnostiquer les îlots de chaleur urbains n'est pas chose facile. En effet, ils s'agit d'un phénomène dynamique qui présente de fortes variations spatiales et temporelles. Il varie d'heure en heure et son observation est généralement facilitée pendant la nuit en raison du différentiel de refroidissement nocturne entre ville et campagne. De plus, on mesure parfois plusieurs degrés d'écart d'une rue à l'autre... Alors comment faire pour diagnostiquer l'ICU et en tirer des enseignements généraux sur une « bonne organisation spatiale » de la ville ?

Il existe une grande diversité de méthodes pour mieux appréhender l'ICU. Chacune présente des avantages et des inconvénients et leur utilisation dépend notamment de l'objectif poursuivi (état des lieux, visée opérationnelle ou prospective, cartographie...).

Pour caractériser au mieux le phénomène, une démarche de diagnostic a généralement recours à plusieurs méthodes car elles ne sont pas toutes pertinentes à la même échelle et apportent des prismes d'analyse complémentaires. On peut schématiquement les classer en trois grandes familles : la télédétection, les mesures de terrain et la modélisation.



## La télédétection

La télédétection consiste à déterminer un certain nombre de caractéristiques physiques ou biologiques à partir de mesures effectuées **à distance**, notamment par satellite ou avion. Les **images satellites ou aériennes** nécessitent une **phase de traitement** qui pourra permettre de produire des cartographies telles que les températures de surface, la brillance ou encore la couverture végétale à l'échelle d'un vaste territoire.



## La modélisation

Ces méthodes regroupent un ensemble de **modèles théoriques** souvent conçus de manière empirique en s'appuyant sur des études antérieures et des mesures de terrain. Elles estiment l'ICU en croisant différents jeux de données : caractéristiques bâties et morphologiques, matériaux de surface, occupation du sol, conditions climatiques locales, activités anthropiques...

La modélisation est utile pour **mieux comprendre les causes** de la surchauffe urbaine, étape indispensable pour proposer des actions efficaces.



## Les mesures de terrain

Ces méthodes consistent à mesurer *in situ* différents **paramètres météorologiques** tels que les températures d'air et de surface, l'hygrométrie (humidité de l'air) ou encore la vitesse et le sens du vent, la pression atmosphérique et la nébulosité (taux de couverture nuageuse) afin de caractériser l'intensité de l'ICU à différents moments de la journée.

La température de l'air et la température de surface sont les principaux paramètres à prendre en compte pour **évaluer l'ICU au regard du confort humain**.



Station de mesure qualité de l'air et météo - AtmoSud

---

## DRESSER UN PREMIER ÉTAT DES LIEUX DU PHÉNOMÈNE D'ICU À GRANDE ÉCHELLE (DU GRAND TERRITOIRE AU QUARTIER)

Plusieurs méthodes permettent une première identification de différentiels de températures sur un territoire donné, potentiellement révélateurs d'une problématique d'ICU. Adaptés à l'échelle du grand territoire, voire du quartier, la qualité de leurs résolutions est souvent insuffisante pour des analyses plus fines.



### Par télédétection

Images satellites ou photographies aériennes

Les images satellites fournissent des analyses photométriques : elles mesurent différentes bandes spectrales (visibles et infrarouges) depuis des satellites tels que Landsat, Spot ou Quickbird. Leur unité de base est un pixel en couleur qui est ensuite converti en **températures de surface** via un algorithme (phase de traitement), permettant une analyse à **grande maille** (environ 30m sur 30m).



#### Forces

- Gratuité et disponibilité des images (prises par la NASA)
- Large couverture géographique des images disponibles
- Visualisation cartographique



#### Faiblesses

- Résolution peu précise des images et biais en cas de couverture nuageuse
- Phase de traitement nécessitant des compétences et des logiciels parfois coûteux, avec des erreurs possibles lors de la conversion en températures de surface
- Températures de surface uniquement : insuffisant pour évaluer l'ICU

#### À l'échelle de la métropole, on dispose de :

- **Images satellites LANDSAT 8** converties en températures de surface à l'échelle d'AMP - maille de 30m (traitement algorithmique réalisé par l'Agam).



### Par mesures de terrain

Données des stations météo

Les stations météorologiques sont une mine d'informations relatives à la **température de l'air, l'humidité, le vent...** permettant de retracer l'évolution de ces paramètres depuis plus d'un siècle.



#### Forces

- Bon indicateur de l'évolution du climat local
- Gratuité des données collectées (en général)
- Capteurs *smart city*



#### Faiblesses

- Nombre limité de stations et localisations (ni tout à fait en ville, ni tout à fait à la campagne) pas toujours adaptées à l'analyse de l'ICU.
- Coûts d'installation et de maintenance

#### À l'échelle de la métropole, on dispose de :

- **Relevés météorologiques** issus de la station météorologique de l'aéroport Marseille Provence à Mari-gnane (données depuis 1931 – altitude : 5m)
- **Analyses du GREC-sud** (extrait du diagnostic du plan climat et annexes)



## Par modélisation Simulation de l'ICU par typologies d'espace

Parmi les modélisations possibles de l'ICU par typologies d'espace, on peut citer :

- La modélisation **par type de tissus urbains** : elle consiste tout d'abord à découper la ville par entité spatiale possédant des caractéristiques architecturales et morphologiques similaires (trame viaire, parcellaire, âge du bâti...). Un niveau de sensibilité particulier au phénomène d'ICU est ensuite attribué à chaque type de tissu urbain.

- La modélisation **par espace climatiquement homogène** (aussi appelée **modélisation climatique urbaine**) : elle consiste à découper le territoire par entité spatiale ayant des caractéristiques climatiques similaires (microclimat urbain identique) dont est déduit un niveau de sensibilité particulier au phénomène d'ICU.



### Forces

- Visualisation cartographique des variations de sensibilité aux ICU à grande maille (par type d'espace)



### Faiblesses

- Généralisation par type d'espace peu précise en raison de l'hétérogénéité des situations
- Méthode théorique et simplifiée : nécessite des mesures de terrain pour vérifier la pertinence de la méthodologie

### À l'échelle de la métropole, on dispose :

- D'une analyse des **caractéristiques architecturales et morphologiques** du territoire métropolitain (analyse typomorphologique) réalisée dans le cadre des documents de planification métropolitains (PLUi, SCoT...) par les agences d'urbanisme (AUPA/Agam).
- De données de **projections climatiques** librement accessibles sur le portail DRIAS (accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement [www.drias-climat.fr](http://www.drias-climat.fr))
- De données et méthodologie pour l'analyse du climat actuel et futur de la Métropole AMP : base de données Euro-Cortex mises à disposition par MétéoFrance via le portail DRIAS + données d'observation météo homogénéisées sur les 50 dernières années mises à disposition par la plateforme climat HD de MétéoFrance.
- De données relatives à **l'occupation du sol** (source : CRIGE, BD ocsol PACA-2014). À l'horizon 2020, un «Mode d'Occupation des Sols» MOS grande échelle est attendu et permettra des analyses plus fines.

## POUR ALLER PLUS LOIN...

La modélisation par typologie d'espace a donné lieu à une **diversité de méthodes**. Concernant la modélisation par espace climatique homogène, la méthode la plus connue est celle des « **Zones Climatiques Locales** » (ZCL) élaborée par Stewart et Oke (Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, Canada). Chaque ZCL correspond à une entité spatiale (urbaine ou rurale) présentant des températures d'air et de surfaces uniformes (climat urbain spécifique). Ces zones sont différenciées au moyen de différents paramètres tels que la part de végétation, la hauteur et l'espacement du bâti et des arbres (rugosité/compacité), l'humidité du sol, les flux de chaleur liés aux activités humaines.

Selon ces différenciations, le continuum urbain-rural aboutit à une hiérarchie de **17 zones climatiques** : 10 LCZ de type «bâti» («building») et 7 LCZ de type «non bâti» («land cover»)

### Pour aller plus loin sur la méthode des Zones Climatiques Locales :

IAU (2014), La vulnérabilité de la ville à la chaleur par l'approche Zones climatiques locales, Note rapide N°661 septembre 2014

[https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude\\_1103/NR\\_661\\_web.pdf](https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_1103/NR_661_web.pdf)

### Un exemple de modélisation climatique urbaine sur la métropole de Toulouse :

aua/T (2019), Intensité de l'ICU sur le territoire de Toulouse Métropole, Résultats issus du projet de recherche ANR MAPUCE

[http://lib.iau-toulouse.org/CarteDuMois/170419/images/Atlas\\_ICU\\_version\\_JJORRR.pdf](http://lib.iau-toulouse.org/CarteDuMois/170419/images/Atlas_ICU_version_JJORRR.pdf)

### Un exemple de croisement entre les deux types de modélisation en Ile-de-France :

découpage par tissu urbain et attribution d'un niveau de sensibilité à la chaleur avec la méthode des ZCL

[https://cartoviz.iau-idf.fr/?id\\_appli=imu&x=649656.3027041348&y=6860873.275194339&zoom=8](https://cartoviz.iau-idf.fr/?id_appli=imu&x=649656.3027041348&y=6860873.275194339&zoom=8)

## PRECISER LE DIAGNOSTIC DE L'ICU À UNE ÉCHELLE PLUS FINE (DU QUARTIER À LA RUE)

D'autres méthodes permettent d'affiner la connaissance de l'ICU en mettant en lumière ses variations spatiales à des échelles plus fines et en renseignant sur ses causes possibles. Elles sont utiles pour envisager des actions afin de limiter la surchauffe en ville et de préserver des îlots de fraîcheur ou encore pour déduire des bonnes pratiques pour de futurs aménagements. Le croisement des observations de terrain avec d'autres données telles que l'occupation du sol ou les activités humaines existantes permet de faire des hypothèses sur les déterminants de la surchauffe.



### Par télédétection

Campagnes de photos basse altitude et mesures thermographiques

Outre les images satellites, des campagnes de photos réalisées par avion ou drone équipé d'une caméra infrarouge peuvent fournir des clichés thermographiques très haute résolution permettant des analyses de températures de surfaces à l'échelle de l'îlot ou de la rue.



#### Forces

- Visualisation cartographique idéale pour un état des lieux de l'ICU à grande échelle
- Meilleure résolution que les images satellites



#### Faiblesses

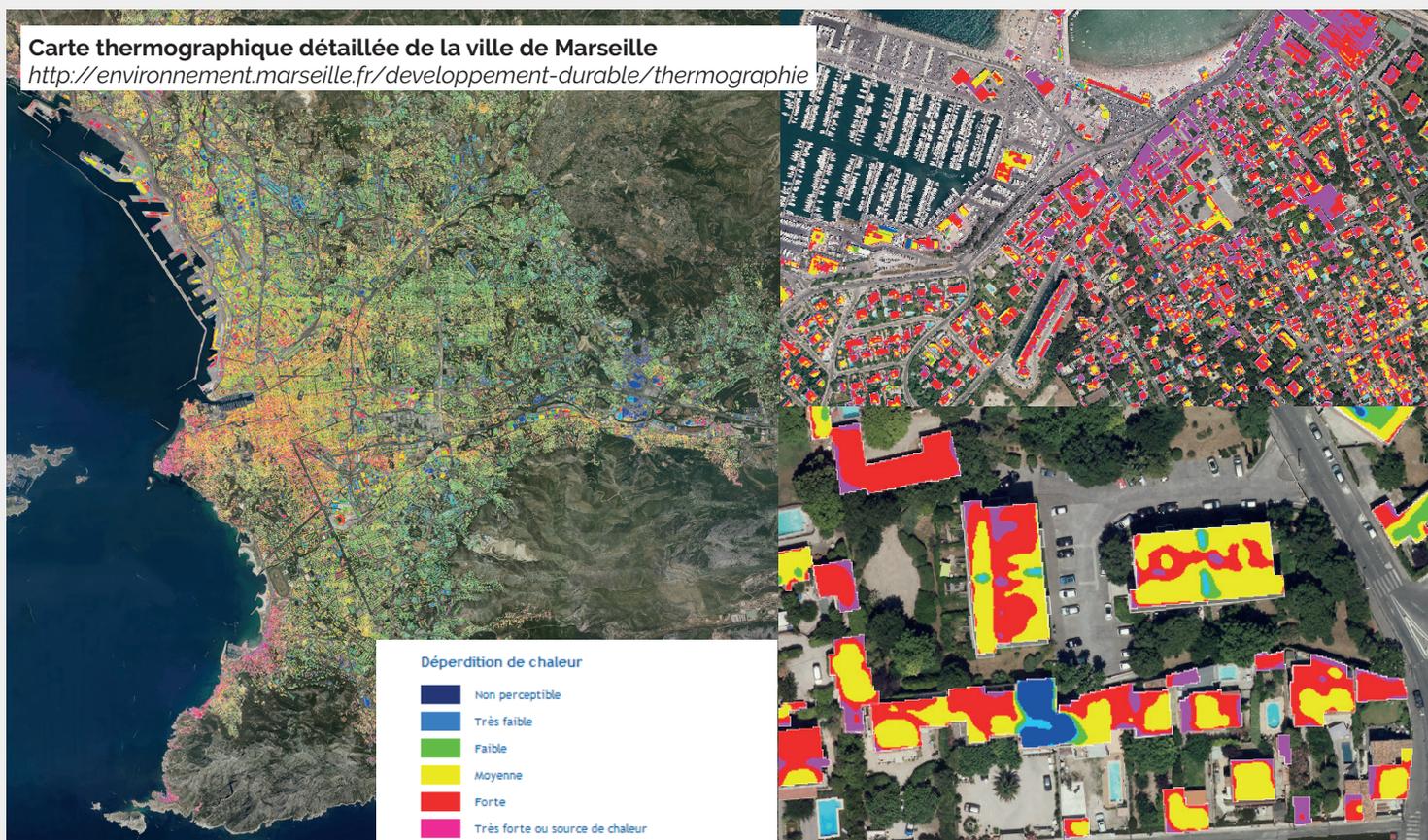
- Méthode coûteuse
- Températures de surface uniquement : insuffisant pour évaluer l'ICU

#### À l'échelle de la métropole, on dispose de :

- Quelques **thermographies aériennes** communales, notamment sur Marseille et Aubagne.

#### Carte thermographique détaillée de la ville de Marseille

<http://environnement.marseille.fr/developpement-durable/thermographie>





## Par mesures de terrain L'instrumentalisation de la ville

### Les capteurs météorologiques fixes

Cette méthode consiste à placer des capteurs ou des stations météorologiques « fixes » dans différents lieux afin de collecter de manière continue des données météorologiques (température de l'air, humidité, vent...) qui pourront être comparées entre elles afin d'évaluer l'ICU et mettre en évidence ses variations spatiales et d'intensité.

#### À l'échelle de la métropole, on dispose :

- d'une **plateforme d'échange de données sur la qualité de l'air** qui devrait être déployée dans le cadre du **projet européen DIAMS** (2019-2022). Les données collectées (notamment relatives au vent, aux températures...) pourront aussi servir à améliorer la connaissance de l'ICU.
- de nombreux **météorologues « amateurs »** disposant d'équipements de mesures dont les données pourraient être partagées et exploitées : voir notamment le **réseau StaTIC** de stations amateurs en ligne d'Infoclimat ([www.infoclimat.fr/stations/static.php](http://www.infoclimat.fr/stations/static.php))
- du programme européen **Nature4CityLife** via la mise en place d'un monitoring urbain (qualité de l'air, effet d'îlot de chaleur, hygrométrie) afin de répondre à l'enjeu de la gouvernance climatique intégrée par le dialogue environnemental dans les projets d'aménagement.

« Seul un diagnostic basé sur des mesures permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'ICU sur son territoire »

SOURCE : JULIEN BOUYER, CHARGÉ DE RECHERCHE EN CLIMATOLOGIE URBAINE AU CEREMA

### Les capteurs météorologiques mobiles

Cette méthode consiste à réaliser des mesures météorologiques mobiles, en général à vélo ou à pieds, le long d'un parcours donné, souvent entre ville et campagne ou dans différents quartiers urbains, dans un temps limité. **Les données collectées servent à mettre en évidence les variations spatiales de l'ICU entre les lieux parcourus.** Grâce à cette méthode, il est par exemple possible de voir des écarts de température entre un parc, une rue côté soleil ou ombre, ou les abords d'une fontaine.

#### À l'échelle de la métropole, on dispose :

- d'un groupe de travail entre le GREC SUD et ATMOSUD qui pourrait réaliser, dans les années à venir, des campagnes de mesures mobiles.



#### Forces

- Méthode objective et factuelle pour évaluer les ICU
- Simplicité de mise en œuvre
- Utile pour affiner la pertinence des méthodes par modélisation ou pour produire des cartographies de l'ICU après extrapolation d'un ensemble de mesures



#### Faiblesses

- Aléas et biais liés aux instruments de mesure et leur localisation : le choix d'implantation des capteurs est déterminant.
- Aléas de la méthodologie (ex: moment des campagnes de mesures et parcours choisis)
- Approche très fine mais qui ne permet pas de couvrir de larges périmètres

### POUR ALLER PLUS LOIN...

Les mesures de terrain sont également utiles pour estimer l'inconfort lié à la surchauffe, du point de vue de l'utilisateur. En effet, elles peuvent alimenter des modélisations du **confort thermique** tel que de **l'Indice Universel du Climat Thermique** (UTCI) qui calcule le stress thermique ressenti par l'homme en croisant des données relatives à la température, l'humidité ou encore la vitesse du vent.

Échelle UTCI (°)	Niveau de stress
au-dessus de +46	Stress thermique extrême
+38 à +46	Stress thermique très élevé
+32 à +38	Stress thermique élevé
+26 à +32	Stress thermique modéré
+9 à +26	Pas de stress thermique

### La caméra thermique

Cette méthode consiste à réaliser des **images infrarouges** au moyen d'une caméra thermique utilisée depuis la rue ou un point haut. Après traitement, elles permettent de visualiser de manière très explicite les écarts de **température de surface** à un instant « t ».

#### Forces

- Visualisation photographique efficace pour sensibiliser au sujet du confort urbain
- Utile pour révéler des défauts d'isolation du bâti (déperditions thermiques) et l'influence des types de revêtements sur les températures de surface

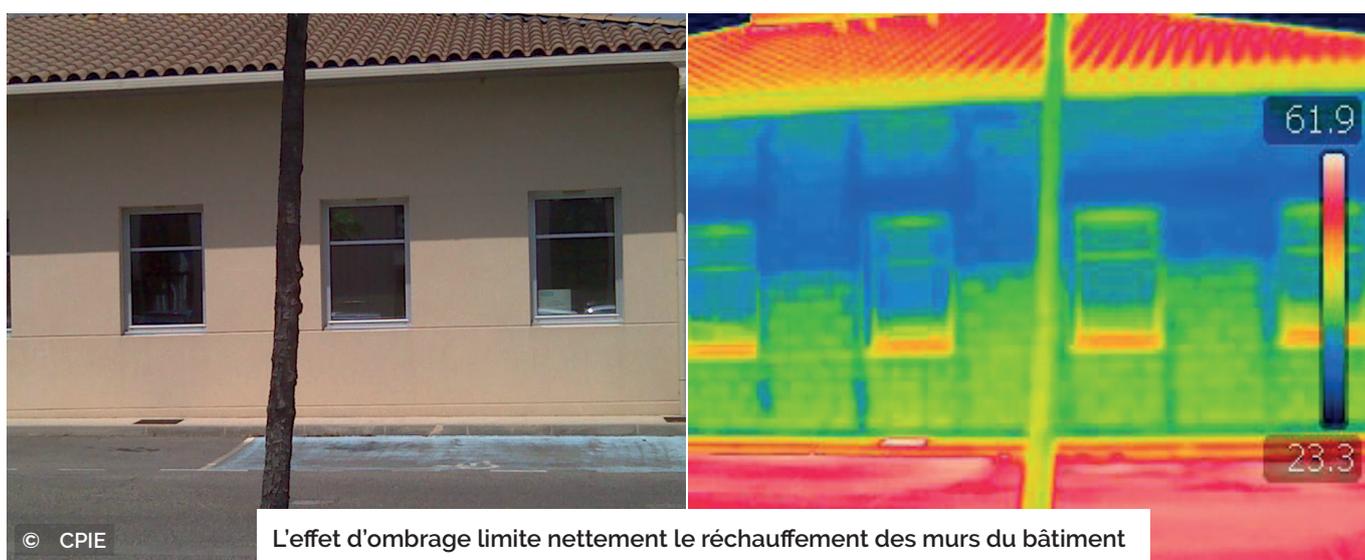
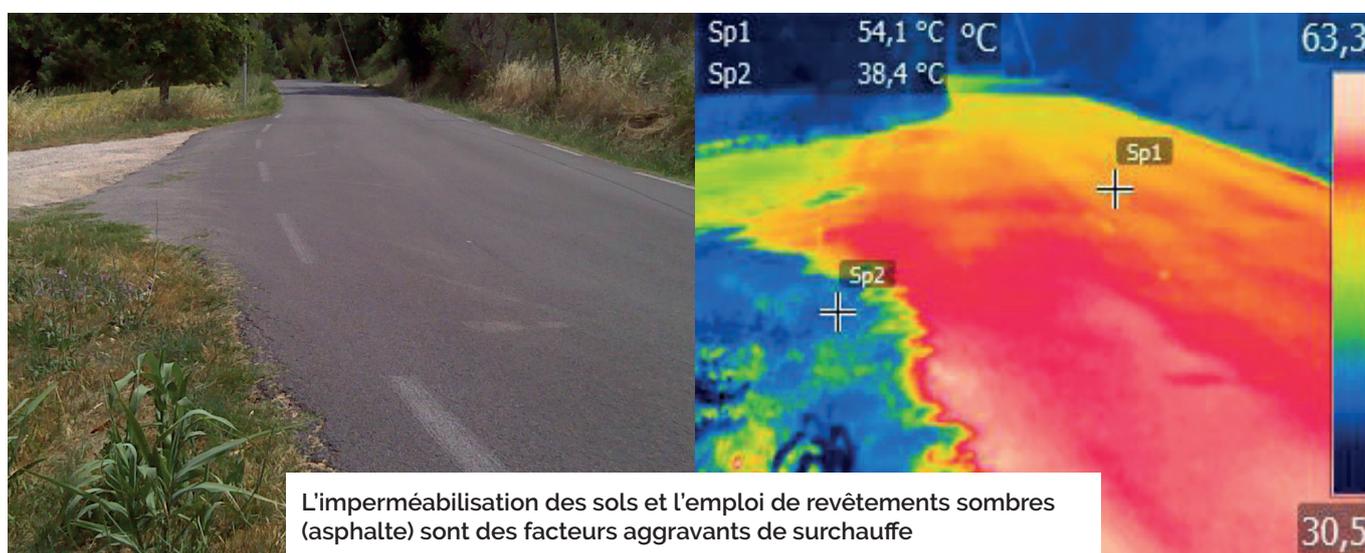
#### Faiblesses

- Besoin d'ingénierie (logiciel, compétences) pour traduire les rayonnements infrarouges en températures de surface
- Températures de surface uniquement : insuffisant pour évaluer l'ICU

### À l'échelle de la métropole, on dispose de :

- Quelques photos réalisées par le **CPIE du Pays d'Aix**. Un partenariat serait à développer afin d'effectuer des campagnes photos sur l'ensemble de la métropole dans les années à venir.

Exemple de clichés pris par caméra thermique sur la métropole (températures de surface) :



**Note méthodologique :** les clichés thermographiques ci-dessus ont été réalisés par le CPIE du Pays d'Aix - Maison EnergieHabitat Climat - au moyen d'une caméra thermique. Ils ont été pris en pleine journée de canicule (26/06/2019) dans la quartier du Jas de Bouffan à Aix-en-Provence vers 15h45.



## Par modélisation

### Simulation numérique ou indicateur synthétique d'ICU

Ces méthodes consistent à simuler l'effet d'ICU à l'échelle d'un quartier, d'une rue ou d'un îlot. Elles sont souvent utilisées dans une **visée (pré-)opérationnelle afin d'estimer la contribution d'un futur aménagement à l'effet d'ICU et de comparer différents scénarios possibles**, mais peuvent également servir à un état des lieux. On peut citer notamment :

**La modélisation par indicateur synthétique** : elle consiste à élaborer un indicateur dont la valeur abstraite permet d'estimer la sensibilité d'un secteur donné au phénomène d'ICU. Certains bureaux d'études ont développé différents modèles d'outils simplifiés (voir encart ci-dessous).



#### Forces

- Outils relativement faciles à mettre en œuvre et peu onéreux
- Visualisation explicite, souvent sous forme cartographique



#### Faiblesses

- Besoin d'ingénierie qualifiée
- Méthode théorique et simplifiée : nécessite des mesures de terrain pour en affiner la pertinence

**La modélisation par simulation numérique** : plus complexe et précise, cette approche consiste à modéliser, par outil numérique, la ville (ou une portion de ville) et d'y simuler l'effet d'ICU par maille plus ou moins grande.



#### Forces

- Visualisation explicite, souvent sous forme cartographique et parfois en 3D



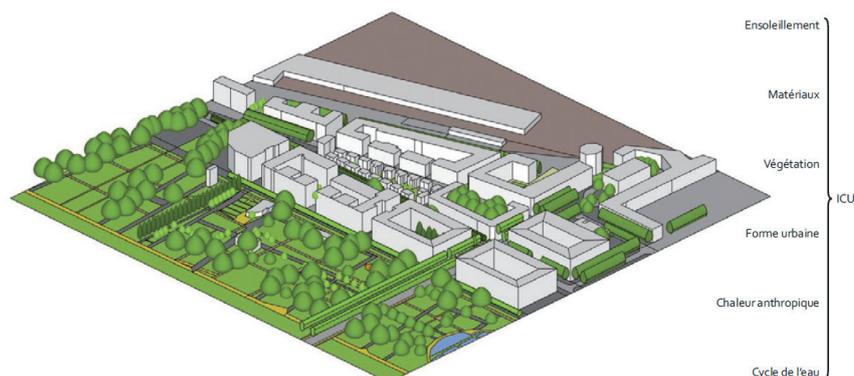
#### Faiblesses

- Méthode longue et coûteuse, nécessitant une ingénierie qualifiée
- Nombreuses données de terrain nécessaires, parfois indisponibles
- Pas encore de modélisation disponible.

## POUR ALLER PLUS LOIN

L'outil « **SCORE ICU** » développé par le bureau d'études E6 Consulting, croisant notamment des données relatives aux propriétés des matériaux (albédo, émissivité...), aux effets d'ombrage et à l'occupation des sols (végétation...) ex. application sur la ville de Bordeaux

Le «**coefficient d'îlot de chaleur**» développé par le bureau d'études TRIBU croise des données relatives à l'occupation du sol et à l'albédo des matériaux (ex: application sur la ville de Lyon).



La modélisation de l'ICU nécessite de documenter, pour chaque forme urbaine, tous les paramètres listés à droite du schéma et de résoudre leurs multiples interactions, heure par heure, lors d'un épisode caniculaire.

## ALLER PLUS LOIN DANS LA DÉMARCHE DE DIAGNOSTIC

Identifier les secteurs à enjeux du point de vue de la population

Une fois l'effet d'ICU appréhendé, une seconde étape du diagnostic peut consister à **croiser les secteurs particulièrement sensibles à la surchauffe avec des données relatives à la population** (densité de population, présence d'établissements accueillant du public sensible, concentration de personnes à risques...).

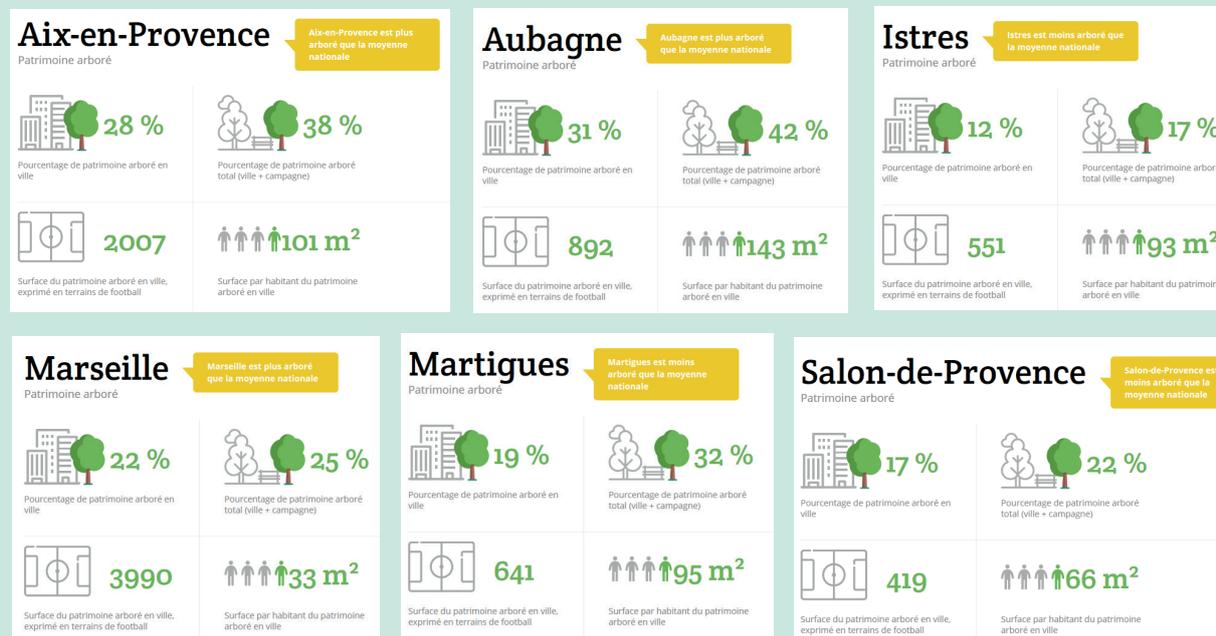
Par ailleurs, des **enquêtes qualitatives** auprès des habitants peuvent aussi être menées afin d'évaluer de manière sensible leur **ressenti thermique** en divers lieux à différents moments de la journée ou de l'année.

## ALLER PLUS LOIN DANS L'ANALYSE DES FACTEURS INTERRAGISSANT AVEC LES ICU

Connaître la proportion de végétation arborée d'une commune grâce à l'outil « nos villes vertes »

Il est possible de compléter le diagnostic des ICU en analysant des paramètres annexes pouvant interagir avec eux comme, par exemple, le taux de couverture végétale, le coefficient de pleine terre ou de biotope ou encore la présence d'eau ou la part d'artificialisation des sols.

De nouveaux outils en ligne se développent et proposent des données directement retraitées, à l'instar de l'outil « nos villes vertes » de kemap © ([www.nosvillesvertes.fr](http://www.nosvillesvertes.fr)). Ce dernier propose des cartographies et des chiffres clés de la **proportion de végétation arborée (publique comme privée) à l'échelle communale**. L'outil s'appuie sur des données homogènes à l'échelle nationale, issues de photographies aériennes réalisées par l'Institut Géographique Nationale (IGN), permettant des comparaisons entre territoires de la France entière.



### RÉFÉRENCES À CONSULTER :

La publication de l'ADEME : **Diagnostic de la surchauffe urbaine, Méthodes et applications territoriales** (septembre 2017) qui détaille les outils et les méthodes pour diagnostiquer l'ICU et revient sur cinq expériences de diagnostic réalisées dans différentes villes de France et du Canada.

# Première approche du phénomène d'ICU à l'échelle d'Aix-Marseille-Provence

Dans le cadre de cette étude, l'objectif est de proposer un premier portrait du phénomène d'ICU sur le territoire métropolitain. Le contexte climatique local et les facteurs de vulnérabilité de la population et du territoire, face aux ICU, seront présentés. Chaque typologie d'espaces urbanisés, définie par les documents de planification, sera ensuite analysée au regard des paramètres pouvant interagir avec les ICU. Ce travail constitue la première étape d'une démarche plus globale pour construire la résilience de la Métropole AMP face au phénomène d'ICU et, plus largement, au changement climatique.

## UN CONTEXTE CLIMATIQUE FAVORABLE À LA CHALEUR

La région Sud, conjuguant littoral, zones humides, montagnes, plaines, et arrière-pays subit un climat complexe dont les variations ont tendance à s'accélérer et s'amplifier... La métropole AMP n'échappe pas à cette règle et pourrait subir des augmentations de températures encore plus fortes, notamment en ville, en raison de sa concentration de population et d'activités ainsi que par les effets cumulés du phénomène d'îlots de chaleur urbain.

### AMP, « hotspot » du changement climatique

La métropole AMP bénéficie d'un **climat méditerranéen** qui se caractérise par des hivers doux, des automnes pluvieux et des **étés chauds et secs** déjà sujet à des situations d'inconfort thermique. Le changement climatique s'y traduit par une **hausse des températures**, des épisodes de sécheresse et une modification du régime de précipitations (plus intenses), avec **de grandes variabilités saisonnières et annuelles**.

L'alternance des **vents dominants** intermitants et parfois violents, le **Mistral** (nord-ouest) et le **Marin** (sud-est), est un autre trait marquant du climat local susceptible de modifier le phénomène d'ICU.

**La mer Méditerranée et l'étang de Berre** tempèrent les conditions climatiques, apportent de l'humidité et contribuent à la formation des brises marines sur les franges littorales qui, quant à elles, diminuent les effets des ICU.

La métropole présente donc une grande **diversité de micro-climats** en raison de sa géographie complexe et de ses divers modes d'occupation du sol (reliefs, façades littorales, zones urbaines, etc.). Ces **variations climatiques locales** peuvent contribuer à expliquer des variations « d'intensité » du phénomène d'ICU sur le territoire métropolitain.

## DÉJÀ +1°C EN MOYENNE EN FRANCE !

**Le réchauffement climatique est beaucoup plus rapide depuis le XXe siècle** en raison des activités humaines qui, depuis la révolution industrielle, libèrent dans l'atmosphère de très grandes quantités de gaz à effet de serre (GES), notamment du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, et de la chaleur. Néanmoins, même si la planète se réchauffe dans sa globalité, il est important de rappeler qu'**il existe une variabilité importante d'une région du globe à l'autre et d'une année sur l'autre** ! On pourra donc constater certains hivers très rigoureux, voire des années « plus froides », sans contredire le réchauffement planétaire.

## Vers un renforcement des îlots de chaleur sous l'effet du changement climatique

Si le changement climatique est un phénomène global et indépendant du phénomène local et dynamique d'îlot de chaleur, leurs effets se cumulent et devraient accentuer la surchauffe urbaine dans les prochaines années. Quelles sont les évolutions climatiques projetées à l'échelle de la métropole ?

### Un changement climatique déjà à l'œuvre

Depuis 1959, la température dans la métropole AMP a augmenté en moyenne de **+0,3°C par décennie**. Cette hausse des températures est **davantage marquée en été** (+0,4°C en moyenne par décennie). Les étés 2003, 2015 et 2017 ont été particulièrement chauds avec des écarts à la moyenne de +3°C.

On y constate également **une légère tendance déficitaire des précipitations**, depuis les années 1960, qui pourrait entraîner une grande vulnérabilité face à la disponibilité de la ressource en eau dans le futur.

Enfin, **les vagues de chaleur y sont déjà plus fréquentes et ont une intensité maximale plus sévère** (températures maximales plus chaudes sur des durées plus longues), tendance qui devrait s'accroître dans le futur. Lors de la récente vague de chaleur de juin 2019, de nombreux records de températures maximales ont été battus, notamment 44,4°C à Saint-Chamas et Peyrolles-en-Provence, 44,3 °C à Istres (source : Météo France).

© AUPA	Aujourd'hui (2005)	À moyen terme (2035)	Fin du 21 <sup>e</sup> siècle (2085)
	14 nuits tropicales	46 nuits tropicales	74 nuits tropicales
	92 jours de sécheresse	98 jours de sécheresse	103 jours de sécheresse
	77 journées chaudes	106 journées chaudes	126 journées chaudes
	6 jour de vague de chaleur	21 jours de vague de chaleur	62 jours de vague de chaleur

SOURCE : TEC, CONSEIL (2018), SYNTHÈSE DU CAHIER « CLIMAT ET ALÉAS MÉTÉOROLOGIQUES » DU PCAEM (SCÉNARIO RCP 8,5 POUR LA PÉRIODE ESTIVALE)

### Les projections climatiques sur la métropole : vers des étés toujours plus chauds et secs

En l'absence de politiques volontaristes de réduction des émissions de gaz à effet de serre, les projections climatiques sur la métropole (scénario « au fil de l'eau » RCP 8,5) prévoient une augmentation des températures moyennes de :

**+2 degrés**

à l'horizon moyen  
(2041-2070)

**+3.6 degrés**

à l'horizon lointain  
(2071-2100)

## LEXIQUE

**Nuit tropicale** : température minimale supérieures à 20°C la nuit

**Période de sécheresse** : nombre de jours consécutifs sans précipitation

**Journée chaude (ou journée d'été)** : température maximale supérieure à 25°C le jour

**Vague de chaleur (ou canicule)** : nombre de jours où la température maximale est supérieure de plus de 5°C à la normale saisonnière pendant au moins 5 jours consécutifs

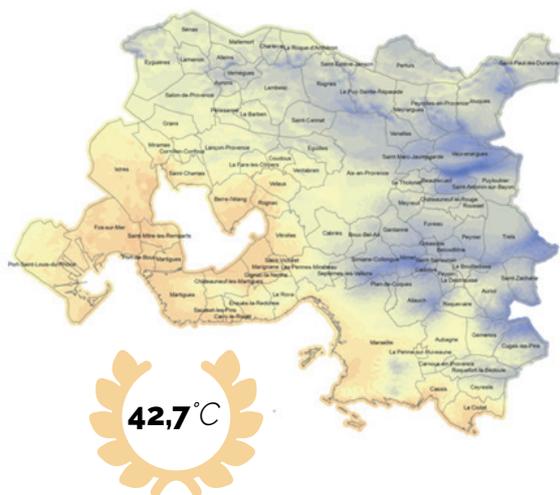
## LES CANICULES, UN COÛT ESSENTIELLEMENT HUMAIN

Sur l'ensemble de la métropole Aix-Marseille-Provence, on peut estimer que la **vague de chaleur de 2003** a causé **entre 250 et 290 décès**. **A l'horizon 2050**, les fortes chaleurs estivales pourraient causer **entre 85 et 100 décès anticipés par an** si l'on tient compte de l'effet d'acclimatation. Sans tenir compte de cet effet (si le climat de 2050 s'appliquait aujourd'hui), le nombre de décès chaque année serait compris entre 170 et 200.

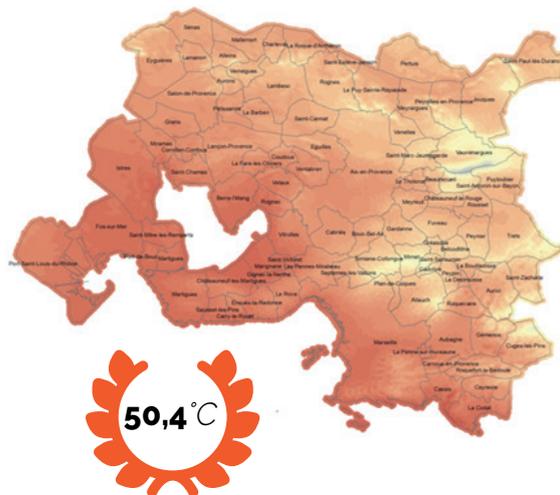
SOURCE : TEC CONSEIL (2018), CAHIER "VULNÉRABILITÉS ET IMPACTS" DU PCAEM

« En période caniculaire, il fait [...] plus chaud de 5 à 8 °C au centre-ville par rapport aux espaces périurbains ou ruraux. L'augmentation des températures devraient être plus marquée en été et pourrait atteindre **+4,7°C** à long terme **en moyenne** avec des pics certaines années. » SOURCE : TEC CONSEIL (2018), SYNTHÈSE DU CAHIER « CLIMAT ET ALÉAS MÉTÉOROLOGIQUES

Evolution de la température moyenne de l'air sur la métropole entre la période récente (1996-2015) et l'horizon moyen (2046-2065)



Record de température  
entre 1950 et 2005



Record possible en 2050

SOURCE : CAHIER DE DIAGNOSTIC DU PCAEM - GEORAPHR

## LES "REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS" (RCP)

Les RCP sont des scénarios d'évolution du climat proposés par le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) correspondant à différents profils de développement futur, et par conséquent, d'émissions et de concentrations de Gaz à Effet de Serre (GES). Le dernier rapport du GIEC propose 4 scénarios: RCP 2.6, 4.5, 6.0 et 8.5 qui est le plus pessimiste et correspond à la tendance d'évolution actuelle si on n'agit pas pour réduire drastiquement les émissions de GES.

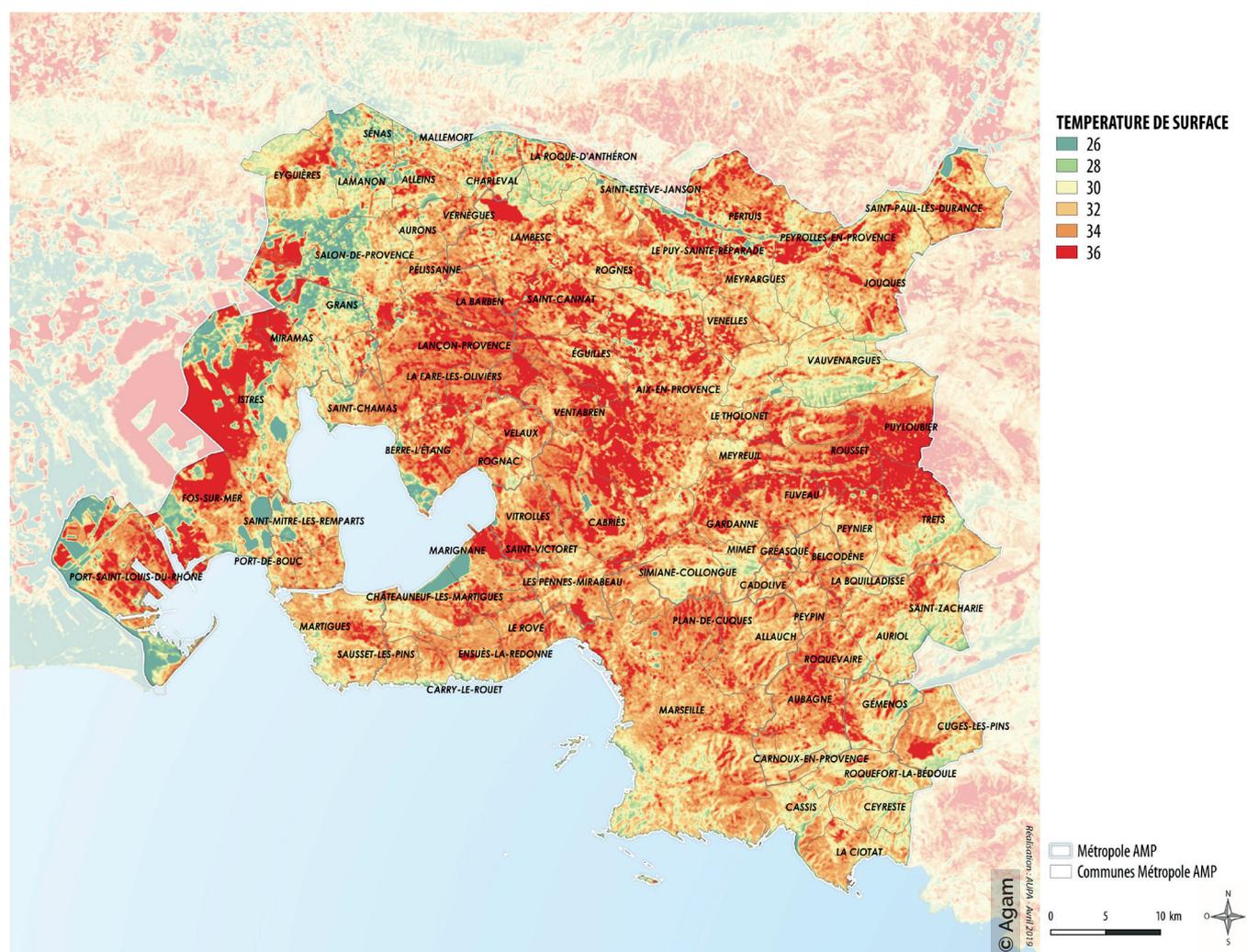
## Exemple d'épisode caniculaire (4 août 2003) sur la métropole AMP, illustré par les températures de surface au sol

La cartographie ci-dessous a été réalisée à partir d'une image satellite prise, de jour, pendant la période caniculaire, le 04 août 2003. La conversion des données satellite en température de surface a été réalisée par l'Agam. La station météorologique de Marignane présente, pour cette journée, 14h18min d'ensoleillement et du Mistral (N/NO) en moyenne à 35km/h avec des rafales jusqu'à 64,8km/h en début d'après-midi.

On constate que tous les espaces de la métropole, urbains comme ruraux, ont une température

de surface globalement chaude (supérieures à 26°C). Néanmoins, les zones les plus « fraîches » correspondent systématiquement à la présence d'eau (étangs peu profonds, ripisylves, rizières, terres agricoles irriguées et zones humides) ainsi qu'aux espaces naturels, notamment forestiers.

Notons que les espaces agricoles ouverts dominés par la culture du blé dur, coupé en été, et la viticulture ont des températures de surface au sol aussi chaudes que les espaces artificialisés.



TEMPÉRATURES DE SURFACE SUR LE PÉRIMÈTRE DE LA METROPOLE AMP LE 4 AOÛT 2003 (JOURNÉE CANICULAIRE) - CARTE RÉALISÉE PAR L'AUPA D'APRES LES DONNEES AVEC TRAITEMENT AGAM (AVRIL 2018).

On constate des différentiels de température entre les centres urbains, globalement plus chauds à l'est du territoire qu'à l'ouest. Une piste d'explication est probablement des effets de topographie ainsi que l'incidence du mistral à proximité du couloir

rhodanien. On observe également des températures urbaines légèrement moins chaudes au niveau du littoral, probablement grâce à la proximité des masses d'eau.

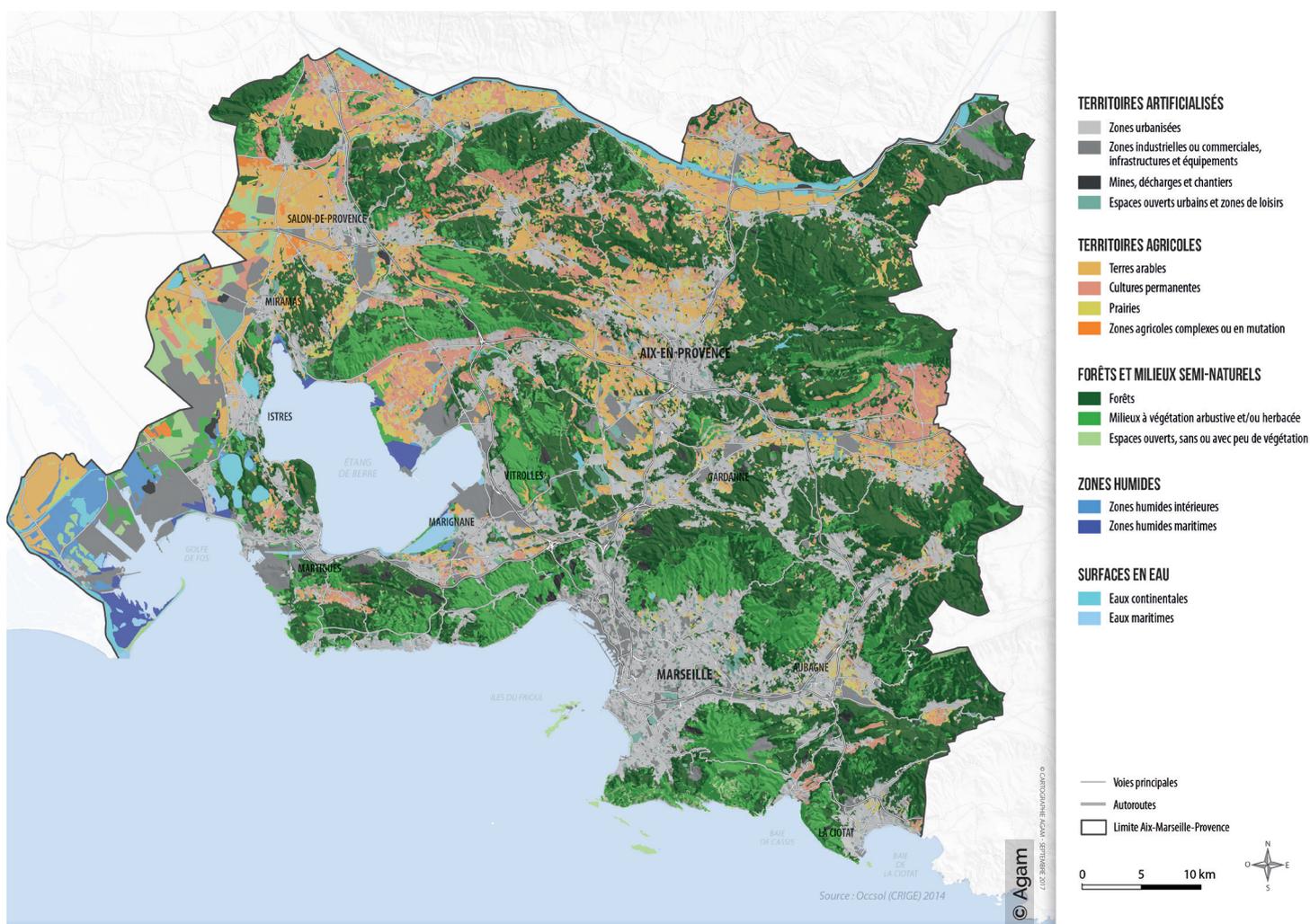
### Note méthodologique :

Donnée d'entrée : image satellite (Landsat 8) prise en pleine journée le 4 août 2003 sans biais de nébulosité. Traitement par l'AGAM qui permet d'obtenir une photographie des températures de surface à l'échelle de la métropole à cet instant.

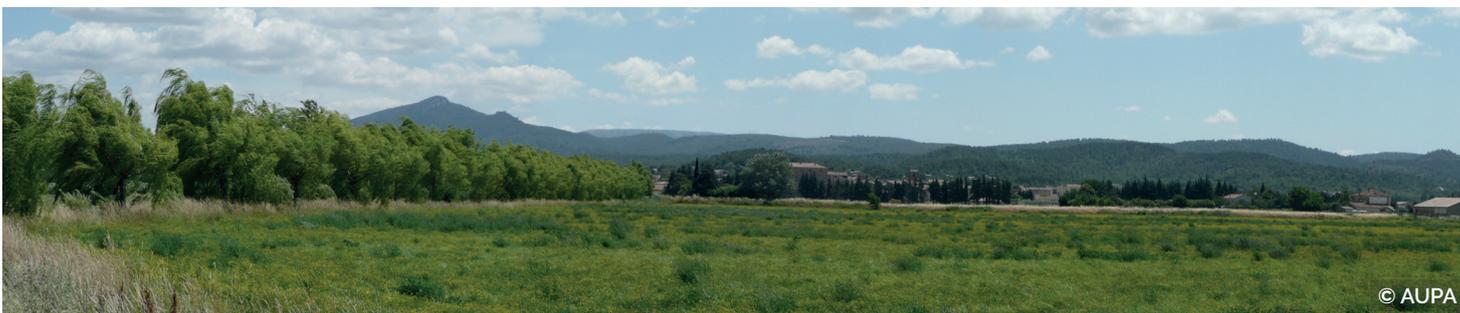


© AUPA

VUE SUR L'ÉTANG DE BERRE DEPUIS LE VILLAGE DE VITROLLES



SOURCE : PORTRAIT AGRICOLE D'AIX-MARSEILLE-PROVENCE MÉTROPOLE - CARTE AGAM - AVRIL 2018.



© AUPA

PLAINE AGRICOLE DE PEYROLLES

**Note méthodologique :**

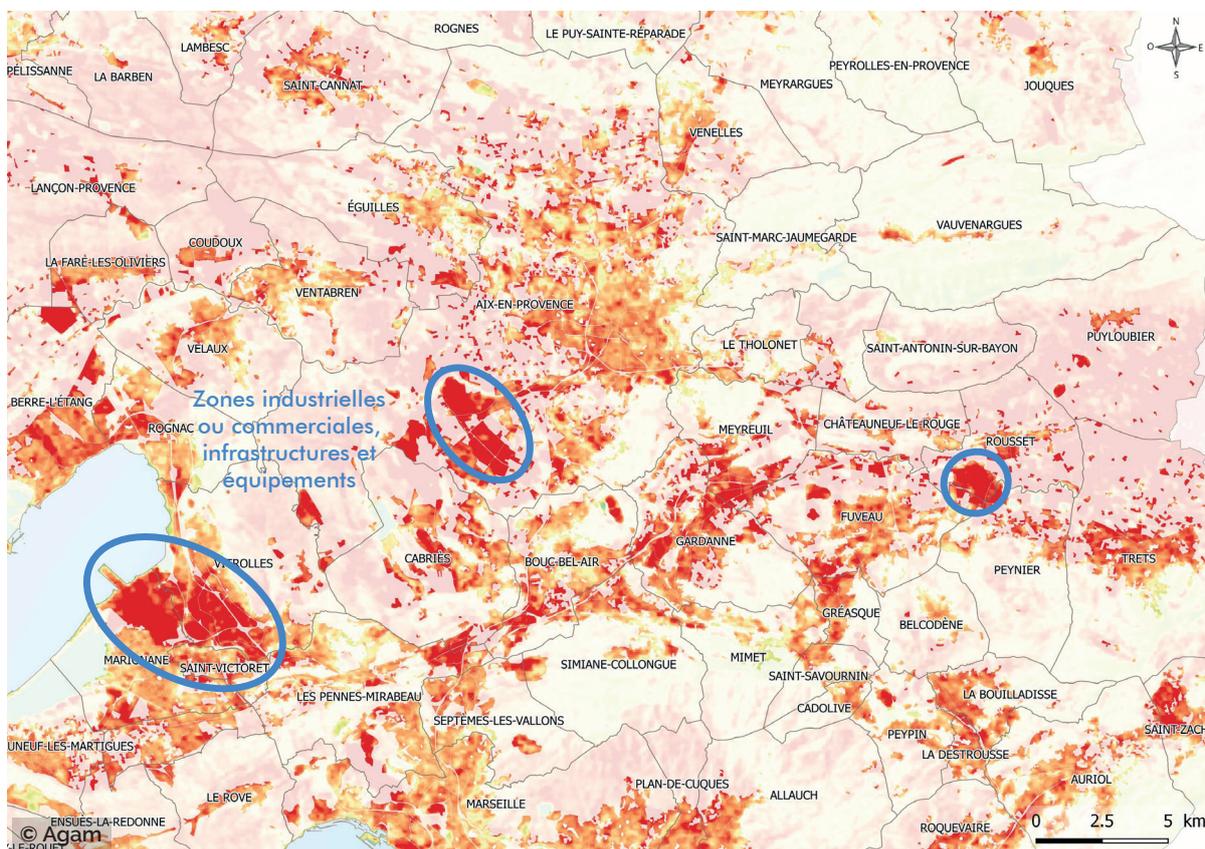
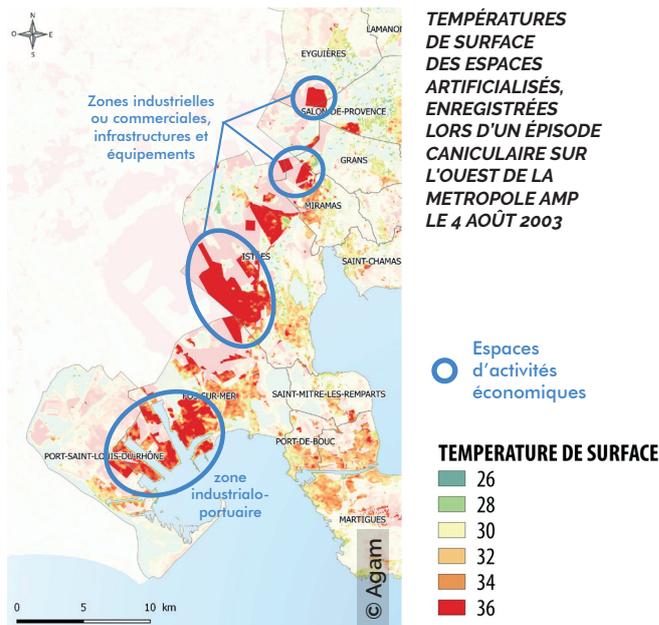
Les zooms et cartes suivantes sont une décomposition de la carte p.14 représentant les températures de surfaces par type d'occupation du sol. Elles croisent les températures obtenues à partir de l'image satellite avec des données d'occupation du sol issues du **CRIGE, OCSOL PACA 2014**. Elles présenteront des zooms sur certains espaces caractéristiques permettant d'avoir une première lecture du phénomène d'ICU en fonction de la nature de l'occupation du sol.

**ZOOM SUR LES ESPACES D'ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES METROPOLITAINS**

Au sein des espaces artificialisés, on distingue très nettement les **espaces d'activités économiques et d'équipements** qui apparaissent avec des températures de surfaces supérieures systématiquement à 36°C lors de l'épisode caniculaire du 4 août 2003.

On retrouve par exemple la zone industrialoportuaire de Fos, la base de l'Armée de l'Air à Istres ou encore l'aéroport Marseille Provence à Marignane et les zones d'activités des Milles Aix-en-Provence et de Rousset.

L'importance des surfaces imperméabilisées et asphaltées, l'absence de végétation et d'effet d'ombrage, ainsi que les dégagements de chaleur générés par certaines activités sont autant d'explications possibles aux températures enregistrées.





VUE SUR LE PLATEAU DE L'ARBOIS

## ZOOM SUR LES SPÉCIFICITES DES ESPACES NATURELS METROPOLITAINS

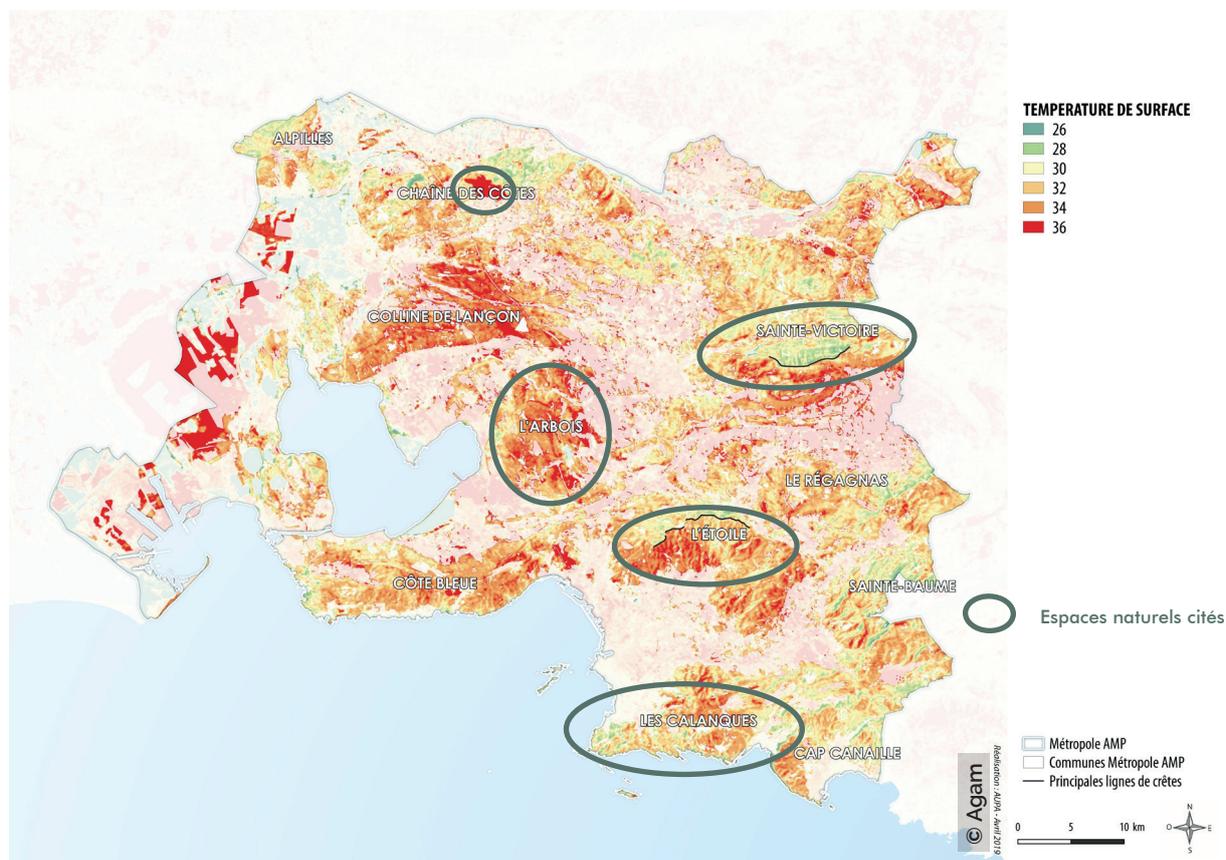
On peut être interpellé par les différences franches de températures de surfaces au sein des espaces naturels métropolitains (plus de 10°C d'écart).

Néanmoins, on peut envisager un certains nombre d'explications pour justifier de ces températures. Par exemple, la **différence d'apports solaires** reçus (moindres en face nord) et la **différence de végétation** entre l'adret et l'ubac peuvent expliquer la nette différence de températures constatée entre les faces sud et nord des massifs tels que la Sainte-Victoire ou la Chaîne de l'Etoile.

La différence de végétation peut aussi expliquer les températures très élevées sur la colline de Lambesc

(chaîne des Côtes). En effet, après croisement avec la base de données CorineLandCover2018 (**SOURCE : GÉOPORTAIL**) il apparaît que la zone où la température de surface atteint les 36°C correspond à une zone spécifique de végétation sclérophylle (plantes adaptées à la sécheresse) alors que les zones moins chaudes, plus au nord, correspondent à des forêts de feuillus et conifères.

Enfin, la **qualité du sol** peut aussi expliquer cette différence de température : un massif calcaire comme la côte bleue, de couleur claire, apparaît «moins chaud» qu'une terre plus argileuse et plus foncée comme l'Arbois ou la colline de Lançon.

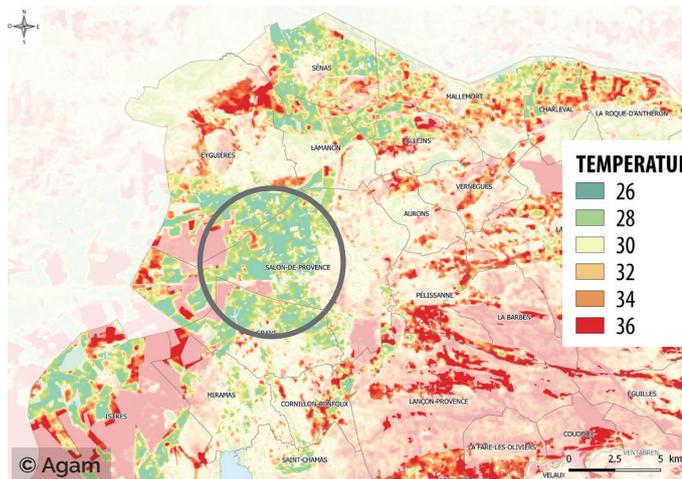


TEMPÉRATURES DE SURFACE DES ESPACES NATURELS, ENREGISTRÉES LORS D'UN ÉPISODE CANICULAIRE SUR L'EST DE LA METROPOLE AMP LE 4 AOÛT 2003 - CARTE RÉALISÉE PAR L'AUPA D'APRES LES DONNEES AVEC TRAITEMENT AGAM (AVRIL 2018).

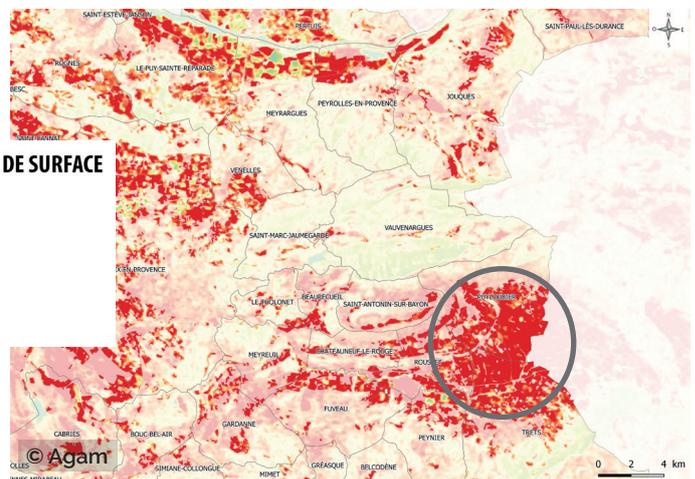
## ZOOM SUR LES SPÉCIFICITÉS DES ESPACES AGRICOLES METROPOLITAINS

Concernant les espaces agricoles, on constate des différences de températures notables correspondant parfaitement aux cultures irriguées à l'ouest et aux vignobles en monoculture à l'est.

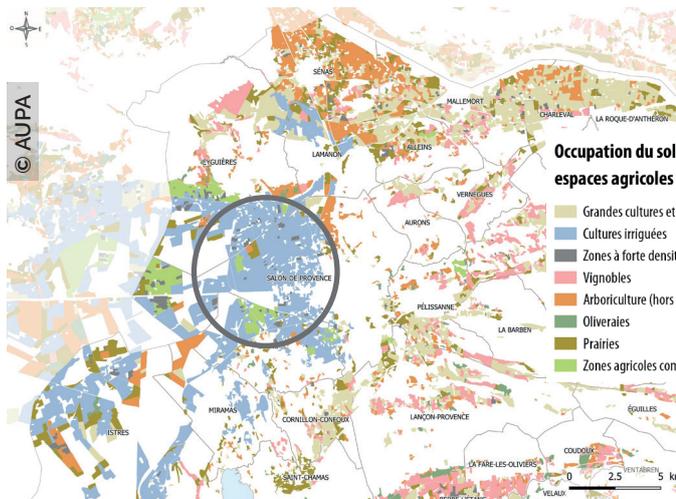
De plus, il est important de rappeler que les zones céréalières au centre d'AMP sont fauchées fin juillet et correspondent donc à du «sol nu».



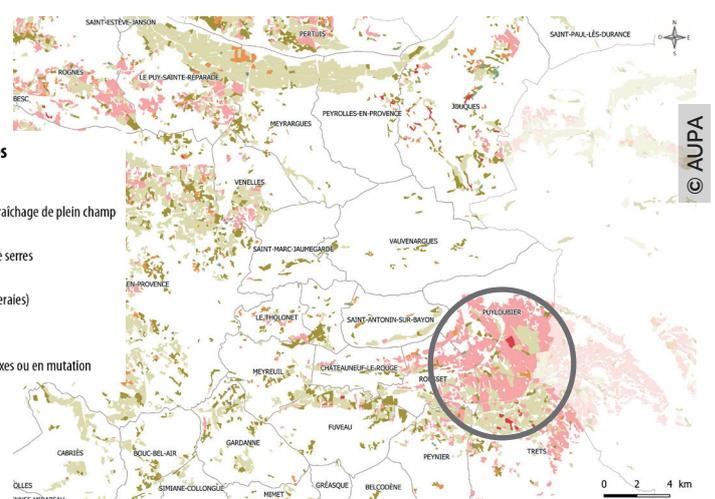
TEMPÉRATURES DE SURFACE DES ESPACES AGRICOLES, ENREGISTRÉES LORS D'UN ÉPISODE CANICULAIRE LE 4 AOUT 2003, EN PAYS SALONAIIS



TEMPÉRATURES DE SURFACE DES ESPACES AGRICOLES, ENREGISTRÉES LORS D'UN ÉPISODE CANICULAIRE LE 4 AOUT 2003, AU PIED DE LA S<sup>T</sup>E VICTOIRE



ESPACES AGRICOLES DU PAYS SALONAIIS - CRIGE PACA OCSOL 2006



ESPACES AGRICOLES AU PIED DE LA S<sup>T</sup>E VICTOIRE - CRIGE PACA OCSOL 2006



AGRICULTURE IRRIGUÉE - PAYS SALONAIIS



VITICULTURE AU PIED DE LA S<sup>T</sup>E VICTOIRE

## UNE MÉTROPOLE VULNÉRABLE FACE AU PHÉNOMÈNE D'ICU

### Une population sensible et largement exposée

**Limiter l'exposition de la population à la surchauffe urbaine est un enjeu majeur de bien-être et de santé publique. Qu'en est-il sur le territoire métropolitain ?**

Sur la métropole, la majorité de la population habite en ville, soit environ **1,8 million d'habitants** potentiellement exposés au phénomène d'ICU. C'est également dans les centres-villes que l'on trouve les plus fortes concentrations de **populations vulnérables à la chaleur**.

Les ambitions démographiques de la métropole (+0,8% par an à l'horizon 2040 soit 16 000 habitants supplémentaires par an) devraient encore accroître le nombre d'habitants exposés aux ICU et potentiellement renforcer son intensité (source : Projet métropolitain - juin 2018).

En effet, si l'exposition prolongée à la chaleur est source d'inconfort thermique (à l'intérieur comme à l'extérieur), elle présente aussi des **risques pour la**

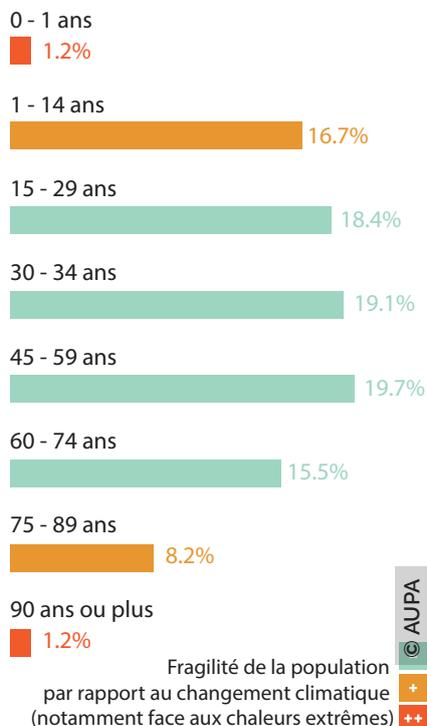
**santé**, notamment pour certaines personnes fragiles telles que les nourrissons, les jeunes enfants, les femmes enceintes, les personnes atteintes de maladies chroniques, les personnes âgées et isolées (voir cahier 1). La chaleur peut engendrer des complications médicales pouvant conduire au décès.

Les **établissements accueillant des publics sensibles** (écoles, hôpitaux, cliniques, maisons de retraite notamment), très majoritairement situés en ville, sont des **secteurs à enjeux** sur le territoire, en particulier lors d'épisodes caniculaires.

Enfin, on peut faire l'hypothèse que les **personnes précaires** sont davantage vulnérables à l'ICU. En effet, la pauvreté va souvent de pair avec des **conditions de logement dégradées** (mauvaise isolation) et un pouvoir d'achat souvent insuffisant pour recourir à des dispositifs de rafraîchissement ou effectuer des investissements de rénovation.

### 28% de la population métropolitaine vulnérable à la chaleur

soit environ **500 000 personnes** - SOURCE : INSEE RP 2016



### 119 000 personnes âgées de plus de 65 ans vivent seules

soit environ 7% de la population métropolitaine  
SOURCE : INSEE RP 2016

### 18,4% des ménages vivent sous le seuil de pauvreté

(Région Sud : 17,3% - France : 14,5%)

SOURCES : INSEE, FILOSOFI 2013

Ces ménages habitent majoritairement dans les centres-villes de la métropole AMP (81% d'entre eux en 2015) et sont donc plus susceptibles d'être touchés par le phénomène d'ICU.

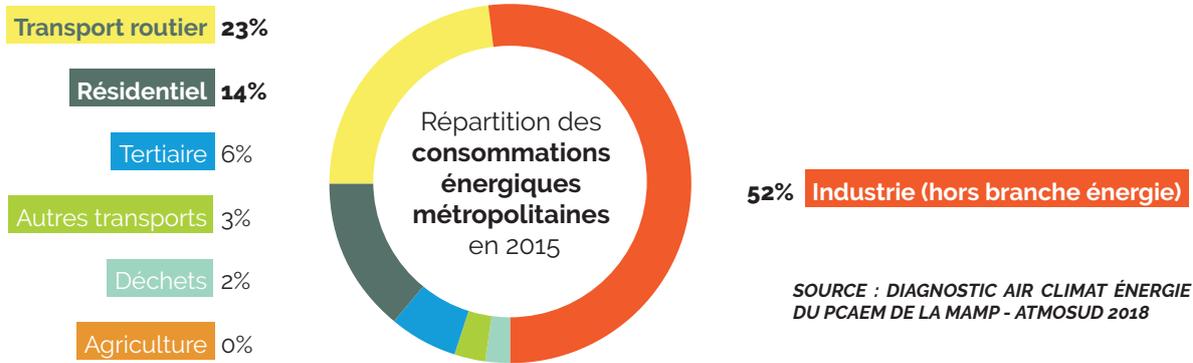
### Environ 1500 établissements sensibles

dont 114 hôpitaux, une centaine de maisons de retraite / EHPAD, 537 écoles maternelles et 912 écoles primaires

SOURCE : DONNÉES SIRENE 2016

## Un fonctionnement territorial aggravant les Ilots de Chaleur Urbains

L'ICU est d'abord et avant tout une conséquence des choix de développement urbain. En effet, sur la métropole, plusieurs aspects relatifs à la structuration et au fonctionnement du territoire tendent à renforcer l'exposition de la population au phénomène d'îlot de chaleur urbain.



Répartition des consommations énergiques métropolitaines finales par secteur, en 2015

© AUPA



**Des consommations énergiques importantes** participant aux émissions de chaleur et de gaz à effet de serre, principalement imputables aux activités industrielles, à l'importance du trafic routier et à un parc bâti énergivore,

**Un mode de développement urbain** multipolaire et consommateur d'espace qui a largement contribué à l'imperméabilisation des sols et au «tout voiture»,



**Des choix de construction** qui ont privilégié des formes urbaines et des matériaux **peu adaptés au climat local** ou souffrant de défauts d'isolation thermique.



© AUPA

## 3 380 000 déplacements en voiture par jour

soit 52% des déplacements effectués

SOURCE : EMD 2009, REDRESSÉE AGAM 2017

## 176,7 M de tonnes de marchandises par an

soit 170 000 mouvements par jour en fret urbain et interurbain sur le périmètre métropolitain.

SOURCE : PLAN DE DÉPLACEMENTS URBAINS AMP 2018

## 200 ha artificialisés par an

entre 2006 et 2014 SOURCE : CRIGE BD OCSOL PACA 2006-2014

## 50% des logements construits avant 1970

en l'absence de toute réglementation thermique

SOURCE : INSEE RP 2014

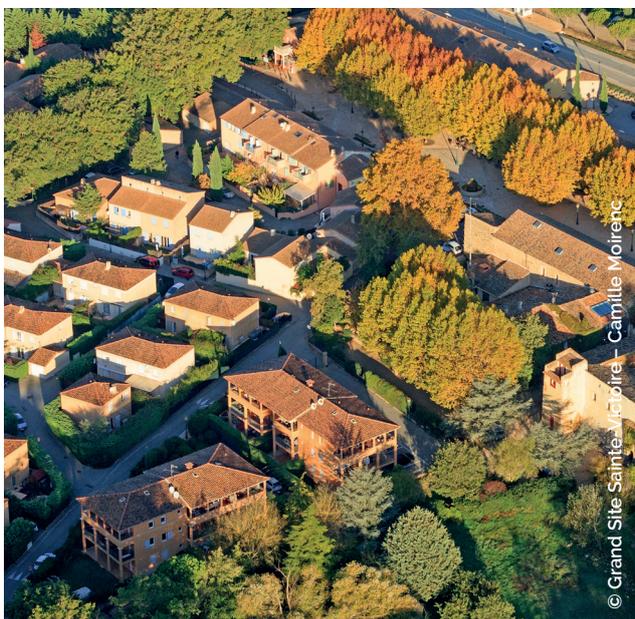
## 47% des consommations

énergétiques de la région sont imputables à la Métropole AMP

SOURCE : DIAGNOSTIC DU PCAEM - ATMOSUD 2018

Toutefois, face à ces signes de fragilité, **la métropole AMP dispose aussi d'atouts** pour lutter contre le phénomène d'ICU :

- la place du végétal en ville : jardins individuels, parcs, squares, potagers urbains...
- l'usage historique de l'eau en ville : puits et fontaines, canaux, thermes (ex : Aix-en-Provence, etc.)



# Sensibilité des espaces urbanisés métropolitains à l'effet d'ICU



Dans quelle mesure les espaces urbanisés de la métropole AMP sont-ils sensibles au phénomène d'ICU?

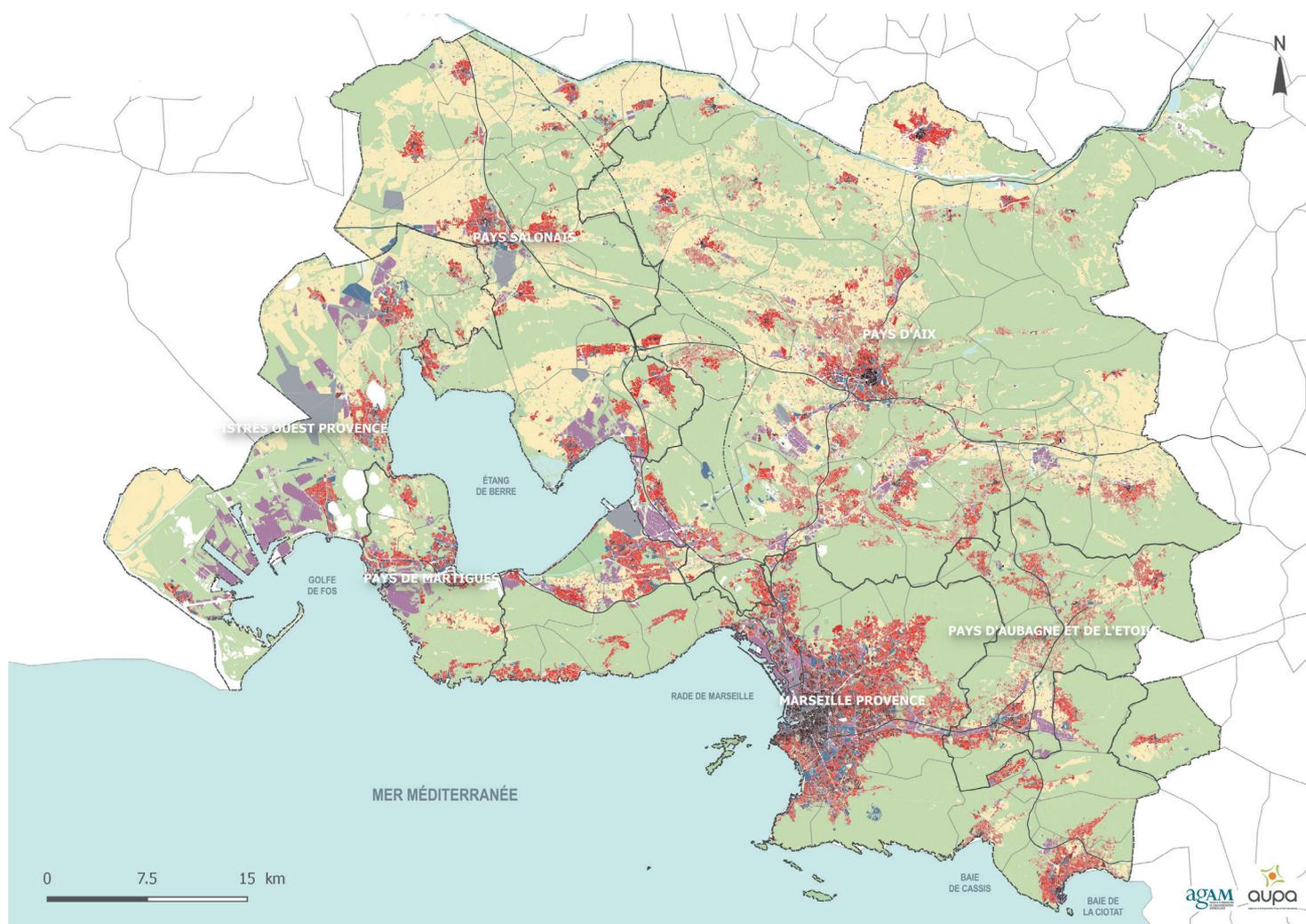
## Note méthodologique

Cette partie s'appuie sur l'**analyse typo-morphologique** de la métropole AMP réalisée, dans le cadre des documents de planification (PLUi, SCoT...), par les agences d'urbanisme (AUPA-Agam).

Les **six grandes catégories d'espaces urbanisés** retenues sont : les centralités anciennes, l'habitat collectif, l'habitat individuel, l'urbanisation diffuse et le mitage, les espaces d'activités économiques, les équipements et grandes infrastructures.

Notre analyse a consisté à **croiser leurs caractéristiques bâties et morphologiques avec les déterminants de l'effet d'ICU** suivants : le niveau d'imperméabilisation des sols, la présence de végétation et d'eau, la circulation de l'air, les apports solaires et les caractéristiques du bâti (performances énergétiques et matériaux employés). Les résultats de la démarche régionale « 123Réno » ont été mobilisés pour affiner l'analyse des enjeux énergétiques. Aucune mesure de terrain n'a été réalisée.

## Analyse typo-morphologique de la métropole AMP



SOURCE : AGENCES D'URBANISME AGAM ET AUPA - MAI 2019

### Les catégories d'espaces

- Habitat collectif
- Ensembles structurés d'habitat individuel
- Espaces d'urbanisation diffuse et de mitage
- Equipements
- Activités économiques
- Infrastructures (gare, aéroport, voies, port)
- Autres espaces non bâtis
- Espaces agricoles
- Espaces naturels

### Eléments de contexte

- Les Conseils de territoires
- Les communes
- Autoroutes
- Routes
- LGV

# Les centralités anciennes

Les **centralités anciennes** comprennent à la fois **les noyaux villageois** (de type médiéval), **les centres-villes historiques** et **les faubourgs anciens**. À l'échelle de la métropole, ils occupent environ **3% des espaces urbanisés** (1 400 ha). Tissu très minéral et compact aux ruelles étroites, à dominante principalement résidentielle, il concentre de nombreux facteurs de sensibilité aux ICU.

## FACTEURS INTERAGISSANT AVEC LES ICU



### SOL

Avec plus de 75% du sol imperméabilisé en moyenne, le tissu ancien dispose d'une **très forte minéralité** qui peut générer des situations d'inconfort thermique (stockage de la chaleur l'été et difficultés à se réchauffer l'hiver en raison de l'inertie importante).

### VÉGÉTATION ET EAU

Dans les centralités anciennes, la nature est généralement **peu présente**. On la retrouve sous forme :

- d' **arbres plantés** devant le château ou l'église, parfois accompagnés par une fontaine, dans les noyaux villageois de type médiéval
- de petites **places arborées** dans les centres anciens,
- d'**alignements d'arbres** le long de la voirie principale, souvent d'un côté uniquement, et, parfois, dans des **cours végétalisés en cœur d'îlot**, apportant de petites surfaces de respiration dans les faubourgs.

L'**espace public** est parfois approprié par les habitants avec des **jardinières le long des murs** ou des **plantes grimpantes** (lierre, vigne vierge) qui rafraîchissent les façades en créant de l'ombre et améliorent le confort thermique. La présence de **fontaines** peut aussi apporter un effet de fraîcheur ponctuel et localisé.

Ce tissu très imperméable induit beaucoup de ruissellement des eaux pluviales.



### AIR

La configuration étroite des rues, la hauteur et la continuité homogènes du bâti génèrent des situations de « **rue canyon** » qui peuvent être **problématiques pour la circulation de l'air**. Orientées dans l'axe des vents dominants (ici le mistral N/NO ou le marin S/SE), les rues peuvent être soumises à des vents forts avec des effets d'accélération.

À l'inverse, perpendiculaires aux vents dominants, les rues peuvent souffrir d'un manque de renouvellement d'air, susceptible d'accroître le phénomène d'ICU et favoriser la concentration de polluants.





## SOLEIL

Le tissu ancien dispose d'**apports solaires limités**, en raison de son caractère dense et compact, de la hauteur du bâti, de sa mono-orientation et de l'étroitesse des ruelles.

Si cela est un atout en été face à l'ICU, les logements peuvent souffrir d'un manque de lumière et d'inconfort thermique en hiver (parois froides dues à la forte inertie).

Par ailleurs, le bâti peut souffrir d'un **manque d'aération** si les dispositifs de ventilation naturelle (par conduits ou cheminées ouvrants) n'ont pas été maintenus lors des travaux de rénovation.

## PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES ET MATÉRIAUX

Les **bâtiments anciens**, construits avant la Première Guerre mondiale, ont généralement des murs épais en pierre disposant d'une **forte inertie thermique**, ce qui est un atout face aux ICU au regard de la compacité du tissu.

À l'inverse, les **extensions récentes** réalisées après la Seconde Guerre mondiale souffrent souvent d'une **mauvaise isolation** acoustique et thermique et peuvent facilement surchauffer en été et être très froides l'hiver.

Historiquement, le maintien d'espaces non habités en rez-de-chaussée (élevage des animaux) et dans les combles (stockage du foin) permettaient d'améliorer les performances énergétiques du bâti en jouant le rôle d'espace tampon. Ce n'est désormais plus le cas !



## EXEMPLE DU CENTRE-VILLE DE SALON-DE-PROVENCE



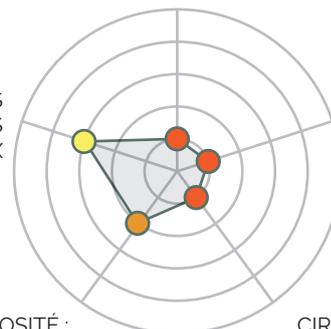
SENSIBILITÉ DES  
CENTRALITÉS ANCIENNES AUX ICU :



PERMÉABILITÉ  
DU SOL

PERFORMANCES  
ÉNERGÉTIQUES  
& MATÉRIAUX

VÉGÉTALISATION  
& EAU



LUMINOSITÉ :  
APPORTS NATURELS

CIRCULATION  
DE L'AIR



# L'habitat collectif

Cette catégorie regroupe plusieurs formes d'habitat collectif, c'est-à-dire des ensembles de plusieurs logements au sein d'un même édifice. Les bâtiments peuvent être de hauteurs variables (minimum R+1), mitoyens ou non (**habitat collectif continu ou discontinu**).

À l'échelle de la métropole, cette catégorie représente **environ 7% des espaces urbanisés** (3 200 ha).

**81% du parc date d'avant 1990** (+ de 30 ans) dont 36% construit pendant la période 1946/1970 (sans réglementation thermique).

**SOURCE : INSEE RP 2016**

## FACTEURS INTERAGISSANT AVEC LES ICU



© AUPA

### SOL

Si le niveau d'imperméabilisation des sols est **modéré** (50% en moyenne), les voiries et les aires de stationnement imperméabilisées et de couleur sombre participent activement à la montée des températures.

### VÉGÉTATION ET EAU

Dans le cas du **collectif mitoyen**, la **végétation est rare** et se situe généralement en arrière des bâtiments ou en cœur d'îlot. Peu valorisée, elle pourrait pourtant fournir des points de fraîcheur pour les habitants.

Dans le cas du **collectif non mitoyen**, la présence de **plusieurs strates végétales** (arbres, arbustes et pelouses) autour des résidences permet de lutter plus efficacement contre les îlots de chaleur.



© AUPA



Satellite-Provence

© Orthophoto 2017

### AIR

Dans le cas du **collectif mitoyen**, la continuité et la hauteur homogène des bâtiments peuvent créer un effet de « **rue canyon** » problématique pour la circulation de l'air et favorable au phénomène d'ICU, notamment si la largeur de la rue est beaucoup plus petite que la hauteur des bâtiments. Dans le cas où le vent serait orienté dans l'axe de la rue, des **effets venturi** (accélération) inconfortables pour le piéton pourront se faire sentir. À l'inverse, un vent perpendiculaire peut générer des **effets tourbillon** rabattant l'air vers le sol, maintenant la pollution atmosphérique en présence de circulation automobile.

Dans le cas du **collectif non mitoyen**, l'implantation du bâti en retrait de la voirie sur des parcelles de grande taille (>1000 m<sup>2</sup>) est favorable à une meilleure circulation de l'air. Les **bâtiments de plus de 5 étages** pourront générer des **perturbations aérauliques** en cas de vent important, principalement à leurs abords immédiats.



© AUPA

## SOLEIL

Les logements disposent d'une double orientation avec de **grandes surfaces vitrées**, pouvant occasionner des phénomènes de surchauffe en l'absence de protection solaire, surtout en cas d'exposition E/O.

## PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES ET MATÉRIAUX

L'âge du parc est relativement ancien et souffre d'une **absence ou d'une faible isolation thermique**, favorisant les phénomènes de surchauffe au dernier étage sous toiture et les déperditions énergétiques.

Ces conditions entraînent souvent l'ajout de climatisations très consommatrices d'énergie et renforçant la chaleur à l'extérieur du bâti.



© AUPA

## EXEMPLE DE PORT-DE-BOUC



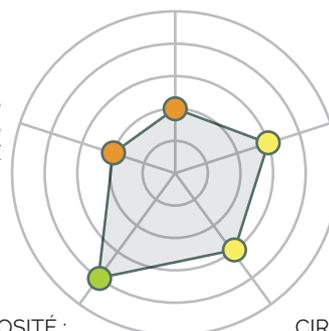
### SENSIBILITÉ DE L'HABITAT COLLECTIF AUX ICU :



### PERMÉABILITÉ DU SOL

PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES & MATÉRIAUX

VÉGÉTALISATION & EAU



LUMINOSITÉ : APPORTS NATURELS

CIRCULATION DE L'AIR



© AUPA

# L'habitat individuel

Cette catégorie comprend **l'habitat individuel groupé et les lotissements anciens** (maisons mitoyennes sur des parcelles petites à moyennes), ainsi que **l'habitat individuel discontinu** (maisons non mitoyennes avec piscines fréquentes). Le tissu est organisé géométriquement et structuré par des accès principaux et des voies secondaires en impasse. À l'échelle de la métropole, il occupe environ **30% des espaces urbanisés** (13 200 ha). Ce type de tissu est moins soumis au phénomène d'ICU que l'habitat collectif.

73% des maisons datent de plus de 30 ans dont 17% pour la période de 1946 à 1970 construites sans réglementation thermique.

SOURCE : INSEE RP 2016

## FACTEURS INTERAGISSANT AVEC LES ICU



### SOL

Le niveau d'imperméabilisation des sols est **variable**, de faible (25%) à fort (>50%). La part relativement importante de **surfaces végétalisées et de pleine terre** est un atout face à l'ICU.

Néanmoins, la superficie non négligeable des aires de stationnement et des voies de circulation est favorable à la montée des températures.

### VÉGÉTATION ET EAU

Ce type de tissu bénéficie systématiquement de **jardins privés** (souvent arrosés), en continuité les uns des autres, qui sont un **atout pour le confort d'été**. Ils sont composés de différentes strates végétales : arbustes, massifs herbacés, pelouses et mousses. Les **arbres** sont davantage présents dans **l'espace public** sous forme d'alignements et participent aussi à la lutte contre l'ICU. On constate aussi la présence fréquente de piscines (consommation d'eau + imperméabilisation du sol)



### AIR

L'organisation aérée du tissu, la faible hauteur des bâtiments (R+1 max) et son implantation fréquente en retrait des limites parcellaires sont des éléments favorables à une **bonne circulation de l'air**.



© AUPA

## SOLEIL

Le bâti dispose généralement d'une **double orientation** pouvant occasionner des phénomènes de surchauffe en l'absence de protection solaire, surtout en cas d'exposition E/O.

## PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES ET MATÉRIAUX

Les performances énergétiques de ce type de tissu sont **très variables**. Elles dépendent de l'âge, de la typologie du bâti, des travaux de rénovation déjà effectués et de sa compacité et pourront éventuellement générer de l'inconfort thermique en cas de mauvaise isolation, en été (surchauffe) comme en hiver (sensation de paroi froide sur les façades non mitoyennes).



© AUPA

## EXEMPLE DE GRANS



SENSIBILITÉ DE L'HABITAT INDIVIDUEL AUX ICU :



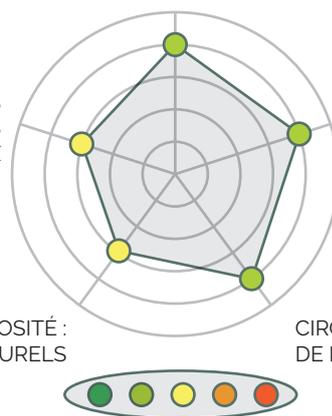
PERMÉABILITÉ DU SOL

PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES & MATÉRIAUX

VÉGÉTALISATION & EAU

LUMINOSITÉ : APPORTS NATURELS

CIRCULATION DE L'AIR



© AUPA

# Urbanisation diffuse

Cette catégorie comprend **l'habitat individuel diffus ou isolé, les hameaux et les ensembles bastidaires**, à vocation mixte ou résidentielle. Le bâti est implanté de manière aléatoire, sur de grandes à très grandes parcelles situées au milieu de terres agricoles, naturelles ou forestières. A l'échelle de la métropole, cela représente environ **20% des espaces urbanisés** (8000 ha). Ce type de tissu est en général **très peu soumis au phénomène d'ICU**.

## FACTEURS INTERAGISSANT AVEC LES ICU



### SOL

Grâce à un niveau d'imperméabilisation des sols **faible à très faible** (inférieur à 50%, voire inférieur à 25%), **le taux élevé de surfaces végétalisées et en pleine terre** permet de limiter fortement le phénomène d'ICU.

### VÉGÉTATION ET EAU

La végétation est continue d'une parcelle à l'autre et **l'ensemble des strates végétales** sont présentes (arbres, arbustes, pelouses...). La présence d'**alignements d'arbres** le long des allées principales, ainsi que des **bassins et/ou de fontaines** à proximité de l'édifice principal participent à la régulation de la température à proximité. On constate aussi la présence fréquente de piscines (consommation d'eau + imperméabilisation du sol)

Néanmoins, la présence de grandes surfaces de **sols nus ou herbacés**, ou encore le type de **cultures agricoles** environnantes (par exemple, les céréales coupées l'été) pourront aboutir à des températures au sol importantes en journée malgré la perception de « nature environnante »



### AIR

Ce tissu est aéré et bénéficie généralement d'une **bonne circulation de l'air**. Néanmoins, certains bâtis imposants et isolés pourront générer des perturbations du flux d'air dans leur contour immédiat.





© AUPA

## SOLEIL

Le bâti diffus ou isolé bénéficie des **4 orientations**. Sans protection solaire, les apports de chaleur pourront être très importants, générant des sensations d'inconfort en été, surtout en cas de bâti ancien, peu ou pas isolé.

## PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES ET MATÉRIAUX

Les performances énergétiques de ce type de tissu sont **très variables**. Elles dépendent de l'âge, de la typologie du bâti, et des travaux de rénovation déjà effectués... et pourront éventuellement générer de l'inconfort thermique en cas de mauvaise isolation, souvent compensé par l'ajout de climatisation très consommatrice d'énergie.

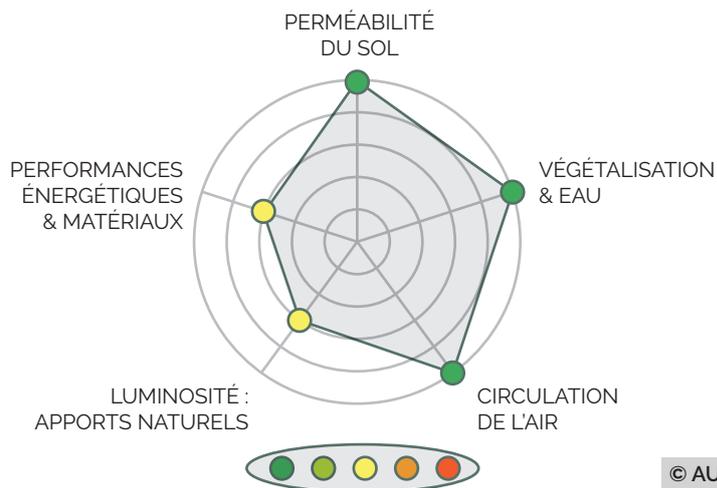


© Labo photo Ville d'Aix

## EXEMPLE DE SAINT-MITRE-LES-REMPARTS



SENSIBILITÉ DE  
L'URBANISATION DIFFUSE ET DU MITAGE AUX ICU :



# Espaces d'activités économiques

Cette catégorie regroupe les **activités économiques ponctuelles**, les **activités tertiaires**, les **polarités commerciales de proximité**, et les **zones d'activités mixtes**. La métropole Aix-Marseille-Provence compte plus de 300 Zones d'Activités Économiques (ZAE) réparties en 21 pôles majeurs, principalement situées en périphérie ou en entrée de ville, à proximité des grands axes routiers. Elles occupent environ **21% des espaces urbanisés** (10 000 ha).

**Les enjeux liés aux ICU sont très variables d'une ZAE à l'autre** en fonction du type d'activités implantées (industries, bureaux, commerces, logistiques, services aux particuliers...), de l'année de construction, du niveau de fréquentation... Peu, voire pas fréquentées la nuit, l'exposition de la population demeure limitée à la journée. Néanmoins, leur desserte quasi-exclusivement par la route, induit un trafic routier important. De plus, des éléments liés aux usages des zones d'activités concourent à leur surchauffe comme le recours massif de dispositifs d'éclairage et de climatisation (dans les zones commerciales notamment) ou encore la présence d'unités de refroidissement pour certaines marchandises.

## FACTEURS INTERAGISSANT AVEC LES ICU



### SOL

Le niveau d'imperméabilisation des sols est **très élevé** dans les ZAE. La présence de nombreuses aires de stationnement et de larges voiries, adaptées à la circulation automobile et au transport de marchandises, sont autant de facteurs aggravants le phénomène d'ICU.

### VÉGÉTATION ET EAU

**La végétation et l'eau sont quasi inexistantes** dans les ZAE, à l'exception des dispositifs techniques de bassin de rétention d'eau. Certaines ZAE peuvent néanmoins profiter de la proximité d'un canal ou du littoral (port).



### AIR

La taille et l'agencement des bâtiments, plutôt espacés les uns des autres et de hauteur moyenne (R+1 à R+4), sont des caractéristiques favorables à la **bonne circulation de l'air**. Néanmoins, les volumes des bâtiments imposants peuvent générer des **perturbations du flux d'air** à leurs abords immédiats inconfortables pour le piéton, notamment en cas de vent fort.



## SOLEIL

Les bâtiments des ZAE disposent souvent des **4 orientations** mais en bénéficient peu car leur occupation est souvent mono-orientée (sans protection solaire pour les surfaces vitrées), voire aveugle. En effet, leur caractère technique ou commercial peut induire le recours à de l'éclairage artificiel et, selon la nature d'activité, des dispositifs de climatisation ou refroidissement importants et très consommateurs d'énergie.

## PERFORMANCES ENERGÉTIQUES ET MATÉRIAUX

Les performances du bâti des ZAE sont **variables** et dépendent du type de matériaux, de l'âge de construction du bâti et des travaux de rénovation réalisés.

Dans les **zones commerciales**, les **matériaux employés** pour la construction des bâtiments tendent à favoriser la surchauffe à l'instar des tôles métalliques dont la surface se réchauffe très vite et laisse se diffuser la chaleur au sein du bâtiment, ou des parpaings bruts sans isolation qui accumulent beaucoup de chaleur.

Dans les **parcs tertiaires anciens** (années 90 et avant), les bâtiments disposent souvent de **grandes façades vitrées** et d'une **mauvaise isolation**, favorables à la surchauffe. Le potentiel d'amélioration des performances énergétiques est très important, notamment pour les postes « chauffage » et « éclairage ».

Depuis l'année 2000, la réglementation thermique des **bâtiments tertiaires** a franchi un cap significatif. Aujourd'hui, c'est la RT2012, renforcée par le décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie des bâtiments tertiaires qui s'applique.



## EXEMPLE DE PERTUIS



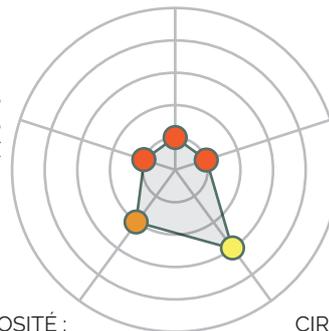
### SENSIBILITÉ DES ESPACES D'ACTIVITES ECONOMIQUES AUX ICU :



### PERMÉABILITÉ DU SOL

PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES & MATÉRIAUX

VÉGÉTALISATION & EAU



LUMINOSITÉ : APPORTS NATURELS

CIRCULATION DE L'AIR



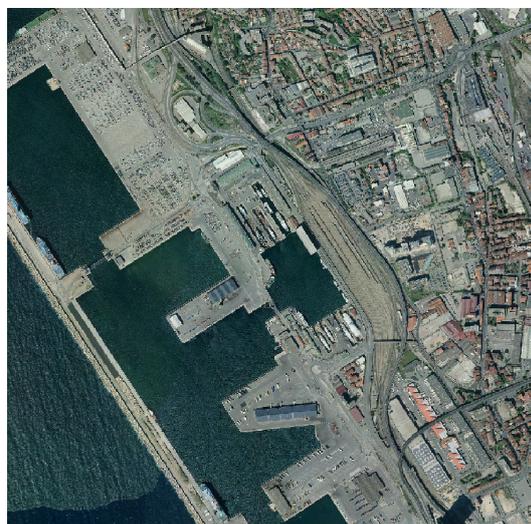
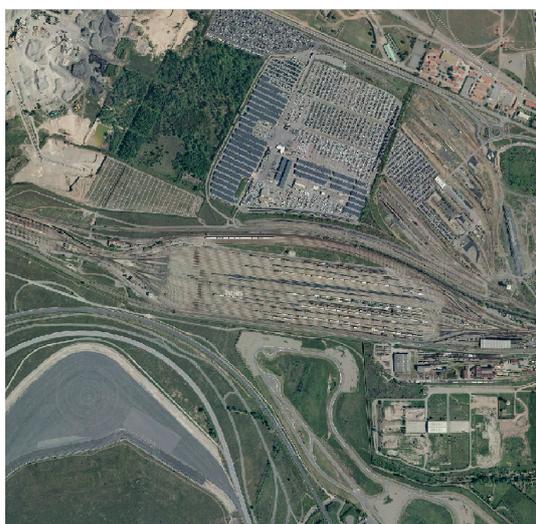
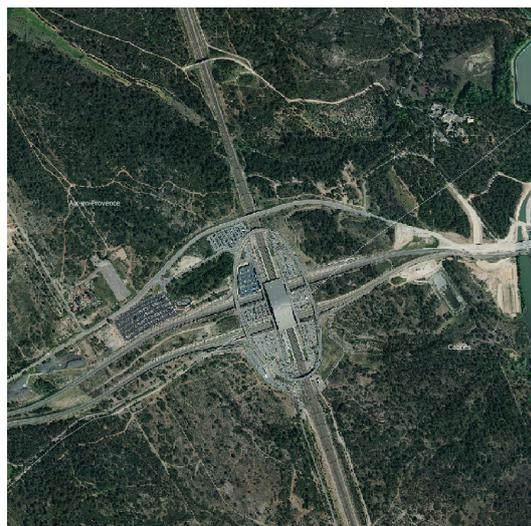
# Équipements et infrastructures

Cette catégorie regroupe les **équipements** (sportifs, culturels, scolaires, de santé...) et les grandes **infrastructures** (autoroutes, rails, aéroports, ports, gares...). Elle regroupe des « **objets urbains** » intégrés dans un tissu urbain existants ou « isolés », occupant généralement de grandes surfaces. A l'échelle de la métropole, cela représente **19% des espaces urbanisés** (respectivement 10% et 9%), soit environ 5 000 ha.

Cette catégorie est traitée à part et de manière partielle en raison de son caractère extrêmement **hétérogène**. Concernant les grandes **infrastructures surfaciques** (routes, rails...), plusieurs caractéristiques sont particulièrement favorables à l'intensification des îlots de chaleur et méritent d'être soulignées :

- le niveau très élevé d'imperméabilisation des sols,
- la quasi-absence de végétation et d'eau,
- la très forte exposition solaire.

Concernant les **équipements**, l'enjeu réside notamment dans la **concentration de publics potentiellement « vulnérables » face aux ICU** : les enfants dans les équipements scolaires et les crèches, les malades et les personnes âgées dans les équipements de santé...



© Orthophotographies 2017

# En conclusion...

Ce premier portrait des ICU métropolitains illustre la **prédominance des choix d'aménagement et de construction dans la réduction ou l'aggravation des phénomènes d'îlots de chaleur.**

Aussi, pour tout projet, public comme privé, il est important de se demander comment limiter au mieux le phénomène d'ICU en se posant les questions suivantes :

- *Puis-je réduire les surfaces imperméabilisées ?*
- *Puis-je intégrer du végétal (sol, façades, toit) ?*
- *Puis-je valoriser l'eau, notamment les eaux pluviales, par des aménagements où elle devient visible et utile ?*
- *La morphologie de mon projet tient-elle compte des vents dominants ? Puis-je utiliser le vent pour rendre le projet plus confortable ?*
- *Les cheminements, notamment modes actifs, et espaces de repos sont-ils ombragés ?*
- *Les matériaux choisis sont-ils adaptés au climat méditerranéen ? Puis-je améliorer le confort climatique par des choix différents ne remettant pas en cause la fonction ou le coût du projet ?*

En effet, outre les règles d'aménagement qu'elles définissent, **les collectivités territoriales une grande marge de manœuvre et se doivent d'être exemplaires**, notamment sur le traitement des espaces publics et sur leur parc de bâtiments.

Pour ce faire, il est important de rappeler que l'usage des espaces publics a longtemps eu pour principal objet de permettre le transit d'un point à un autre (en particulier le « tout voiture », symbole d'indépendance et de richesse) dans le cadre de la ville fonctionnelle.

Aujourd'hui, ce modèle évolue avec des modes actifs et transports en communs valorisés et de nouveaux espaces (tiers-lieux, habitats partagés, économie circulaire...) créés.

Aussi, avant de s'interroger sur « comment concevoir l'espace public pour lutter contre les îlots de chaleur? », il est important de poser, au préalable, que c'est bien **l'intention d'aménagement qui guide les choix techniques** retenus.

Outre la définition des fonctions souhaitées dans l'espace public, parcouru ou vécu, il est important de préciser les attentes du projet. Offrir des lieux d'accueil « îlots de fraîcheur » en période caniculaire, lorsque les bâtiments existants deviennent invivables, concevoir des espaces traversés agréables en période estivale ou encore restructurer, quand c'est possible, le tissu urbain pour qu'il soit moins soumis au phénomène d'îlot de chaleur **nécessite des arbitrages entre coûts d'investissements, de fonctionnement et d'entretien**, choix vertueux d'aménagement et règles d'usages (ex : plage d'ouverture des parcs publics)...

L'élaboration d'une stratégie d'adaptation doit donc s'appuyer en premier lieu sur la connaissance des enjeux climatiques actuels et futurs pour la métropole Aix-Marseille Provence (AMP) et sur un projet de résilience du territoire.

Pour ce faire, l'outil le plus efficace à disposition des collectivités reste encore les règles de planification du PLU(i). Aussi, le 3<sup>e</sup> cahier de ce guide sur les ICU s'attachera à présenter, pour chaque thématique abordée (sol, végétation et eau, circulation de l'air, apports solaires et performances énergétiques et matériaux) les leviers d'actions qu'il est possible d'actionner dans ces différentes pièces.



## BIBLIOGRAPHIE

- La Communauté du Pays d'Aubagne et de l'Etoile (2010), Diagnostic des déperditions énergétiques en toiture, Couverture photographique infrarouge réalisée par l'hélicoptère
- ADEME (2017), Diagnostic de la surchauffe urbaine, méthodes et applications territoriales
- ADEME (2012), Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain à destination des collectivités territoriales
- Apur (2014), Les Ilots de Chaleur Urbains à Paris, Cahier#2 : Simulations climatiques de trois formes urbaines parisiennes et enseignements
- CEREMA et Grand Lyon Métropole (2017), Confort thermique en milieu urbain, Quelques outils disponibles pour l'aide à la décision
- Noëlle VIX-CHARPENTIER et Frédéric CORSET, Densités et formes urbaines, De nouvelles réflexions pour une ville durable ?
- GREC-PACA (2015), Provence-Alpes-Côte d'Azur une région face au changement climatique
- GREC-PACA (2016), Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur
- IAU (2010), Les îlots de chaleur urbain, Répertoire de fiches connaissance
- IAU (2014), Note rapide, La vulnérabilité de la ville à la chaleur par l'approche Zones climatiques locales
- InVS (2012), Rôle des îlots de chaleur urbains dans la surmortalité observée pendant les vagues de chaleur
- ORECA(2014), 2013, Edition 2014
- Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et Méditerranée du Futur (2017), Une COP d'avance : Le Plan Climat de la Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur
- Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et Méditerranée (2013), Schéma Régional Climat Air Energie Provence-Alpes-Côte d'Azur, Les grandes lignes

RÉDACTEURS : **Alexandra SONNTAG** | **Flore CROMBÉ** | **Sophie CHEVALIER**  
DIRECTEUR DE PUBLICATION : **Serge LERDA**  
CRÉDITS GRAPHIQUES : **AUPA** | **Jérôme GHERA**  
CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES : **Camille MOIRENC** | **Pexels.com** | **Labo photo Ville d'Aix**

