A narrow, historic street in Arles, France, lined with traditional buildings. The buildings feature light-colored facades, white shutters, and a prominent black wrought-iron street lamp. The street is paved and leads into the distance, flanked by more buildings and a clear sky.

Arles Diagnostic climatique

Ce dossier de diagnostic climatique a été rédigé par Clément Gaillard du bureau d'études Freio – design climatique dans le cadre de la résidence « Fraîcheur de ville » qui s'est déroulée à Arles entre juin et octobre 2023, grâce au soutien de la DRAC PACA, de la Maison de l'Architecture PACA et de la Marie d'Arles.

La résidence « Fraîcheur de ville » a été réalisée avec l'Atelier MARE (Margaux Girerd et Jérôme Espitalier), l'Atelier Géminé (Antoine Basile et Ulysse Rousselet), DOMENE Scop (Antoine Grosjean), Atelier 21 (Loïc Rogard) et Véronique Mure.

Ce diagnostic climatique visait à imaginer des pistes pour améliorer le confort thermique intérieur et extérieur des habitants du centre historique d'Arles, afin de réduire leur exposition à la chaleur en période estivale et limiter leur vulnérabilité pendant les canicules.

Sauf mention contraire, tous les visuels de ce diagnostic ont été réalisés par Freio – design climatique et ne peuvent être reproduits sans autorisation. La photographie en couverture est de Coline Hasle et celle de la page suivante a été réalisée par Lucas Miguel. Elles sont librement disponibles sur le site Unsplash



Sommaire

1. Ensoleillement & confort thermique extérieur en journée (p. 5)
2. Analyse des vents (p. 10)
3. Températures de l'air (p. 11)
4. Îlot de chaleur urbain (p. 13)
5. Points de fraîcheur extérieurs déjà existants (p. 16)
6. Gestion des eaux pluviales (p. 20)
7. Préconisations générales (p. 21)

1. Ensoleillement & confort thermique extérieur en journée

L'amélioration du confort thermique d'été en journée impose principalement :

- d'ombrager les piétons et les surfaces occupées par les passants ;
- d'exposer les piétons et les passants aux brises.

La morphologie du centre historique d'Arles est globalement favorable à la protection solaire des rues et permet d'ombrager une grande partie des zones de circulation piétonne (Figure 1). Cependant, de nombreuses places qui ne sont pas arborées sont particulièrement exposées au rayonnement solaire direct en journée.

La place de la République en est un exemple : les touristes s'installent dans les zones les plus ombragées au sud de la place. On observe ainsi une migration journalière au sein de la place, les assises à l'est sont occupées en matinée, tandis que celles à l'ouest le sont en fin d'après-midi (Figures 2 et 3).



Quantité d'ensoleillement reçue au sol



Figure 1 : Cumul d'ensoleillement normalisé sur la période du 21 juin au 21 août.
Les zones noires sont les plus ombragées. Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.



Figures 2 et 3 : Occupation des assises à l'ouest (image de gauche) et à l'est (image de droite) de la place de la place de la République. Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

Une analyse au pas de temps horaire grâce à un héliodrom (Figures 4 et 5) permet de mettre en évidence que les principales places de la ville sont très peu ombragées et exposent les piétons à un stress thermique élevé sous l'action du rayonnement solaire direct en journée.

Certaines rues très étroites orientées selon l'axe est-ouest (notamment la rue des Arènes) restent remarquablement ombragées. Les rues orientées selon l'axe nord-sud sont exposées au rayonnement solaire direct aux alentours du zénith : elles sont relativement protégées en matinée et dans l'après-midi.

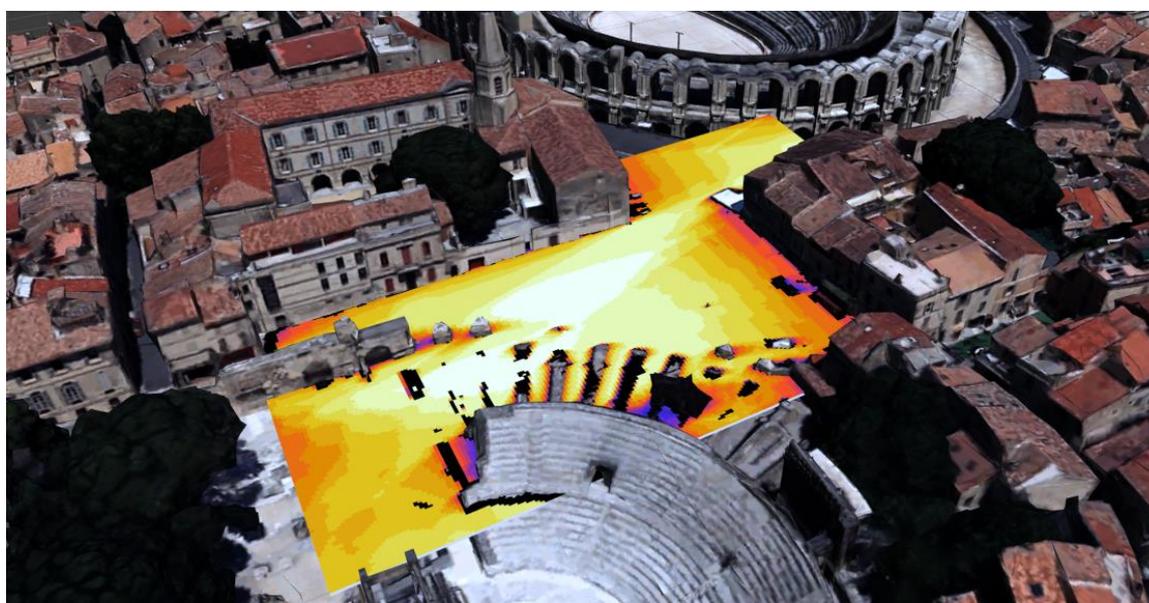


Figure 4 : Ensoleillement le 21 juin à 12h heure solaire. Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.



Figure 5 : Ensoleillement le 21 août à 12h heure solaire. Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

La présence de dents creuses dans le tissu urbain ancien de ville d'Arles est aussi à l'origine de zones très exposées au rayonnement solaire direct. C'est notamment le cas de la place Henri de Bornier, située dans un lieu de passage très fréquenté par les touristes. Des simulations de cumul d'ensoleillement sur la période 21 juin-31 août montrent que la quantité d'énergie solaire directe reçue au sol est très importante : la place n'est pas du tout ombragée (Figure 6). En revanche, de part son ouverture, elle se refroidit plus rapidement que les rues ou les autres places plus abritées comme le montrent les simulations du Sky View Factor (Figure 7).



Quantité d'ensoleillement reçue au sol



Figure 6 : Cumul d'ensoleillement normalisé sur la période du 21 juin au 21 août sur la place Henri de Bornier. Les zones noires sont les plus ombragées. Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

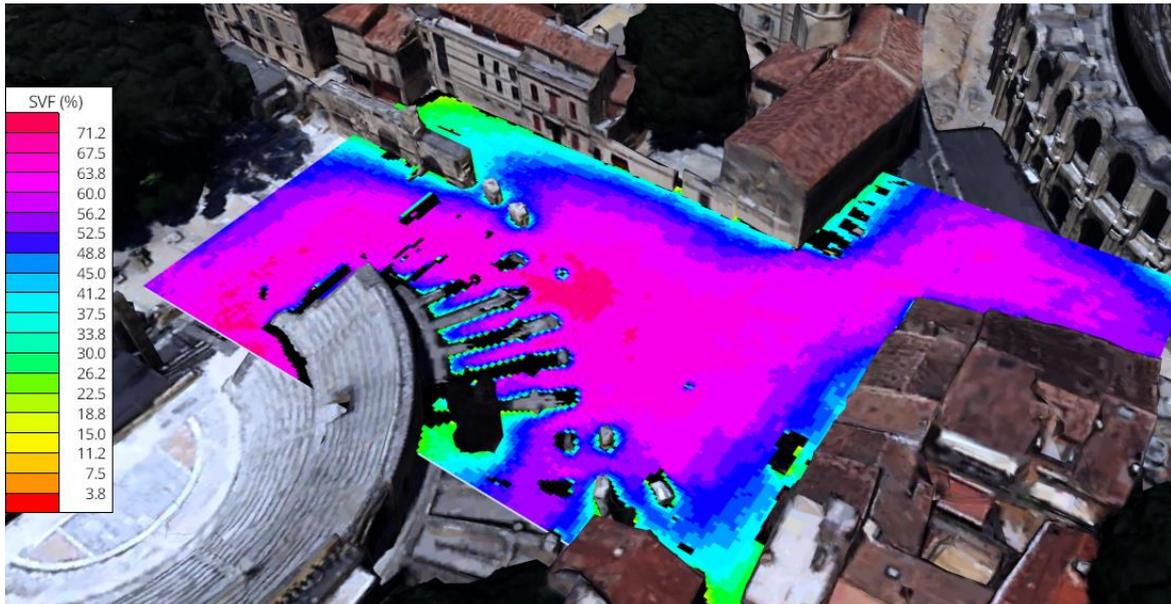


Figure 7 : Simulation du facteur de vue du ciel (Sky View Factor) qui mesure la capacité d'une surface urbaine à se refroidir en période nocturne en l'absence de vent. Les zones vertes et bleues sont celles qui se refroidissent le moins vite. Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

Dans les rues ensoleillées, l'utilisation des bannes, stores et parasols par les commerçants en journée est systématique (Figure 8). S'ils génèrent un ombrage recherché, ils réduisent cependant la ventilation au niveau des occupants et peuvent générer un stress thermique élevé : des mesures de températures de surface réalisées à 11h le 15 juin 2023 sur des parasols sombres (Figure 9) ont montré que la sous-surface non ventilée pouvait atteindre des températures supérieures (56 °C) à celle de la surface, pourtant exposée au rayonnement solaire direct (53 °C). En soirée et pendant la période nocturne, les parasols peuvent augmenter la sensation d'inconfort.



Figure 8 : Exemple de banne brise-soleil particulièrement efficace pour protéger une façade vitrée orientée plein ouest (orientation la plus défavorable du point de vue du confort thermique intérieur). Crédits : Le Buste & L'oreille.

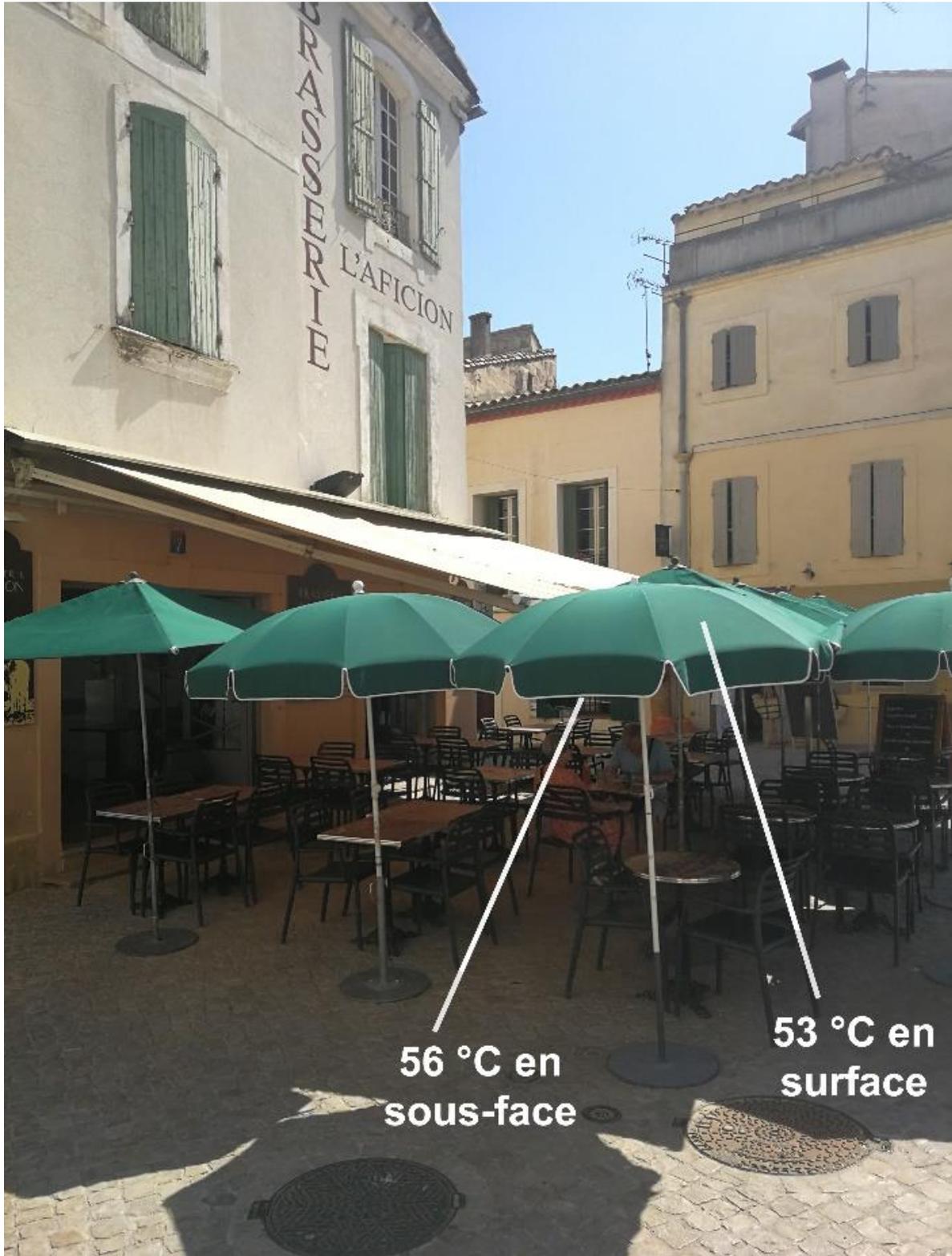


Figure 9 : Mesure de température de surface pour des parasols sombres : la sous-face est plus chaude que la surface, pourtant exposée au rayonnement solaire direct. Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

2. Analyse des vents

Arles est souvent présentée comme une ville froide en hiver à cause de son exposition au mistral. Les épisodes de mistral peuvent en effet être violents à Arles, mais la fréquence de ces épisodes est très variable en été. Afin de connaître la direction des vents principaux pendant la période critique pour le confort d'été, les roses des vents pour les mois de juin, juillet et août de la station météo d'Istres ont été générées (cette station est à environ 31 km du centre-ville d'Arles et 23 km de la station météo d'Arles de la Tour du Valat) (Figure 10).

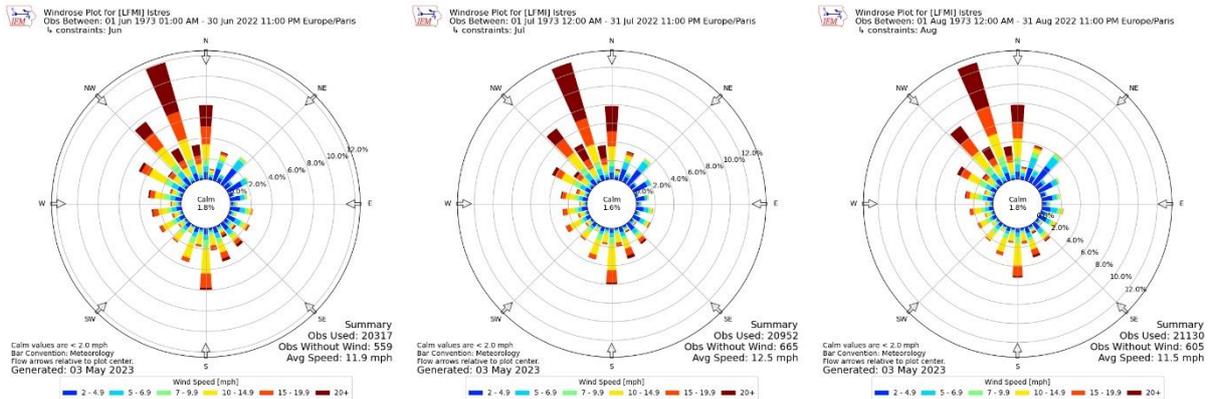


Figure 10 : Roses des vents pour les mois de juin, juillet et août de la station météo d'Istres (à environ 31 km du centre-ville d'Arles et 23 km de la station météo d'Arles de la Tour du Valat). Crédits : IEM, C. Gaillard, Freio – design climatique.

Les roses des vents mettent en évidence deux principales directions des vents : nord/nord-nord-est, qui correspond à la direction principale du mistral, et sud, qui correspond au vent dit de « l'Auro » ou de « L'aure » ou « Laure », associé au vent « marin ». La toponymie de certaines rues permet de comprendre celles qui sont le plus exposées à ces différents vents (Figure 11). Un épisode de vent du sud s'est déroulé pendant la résidence, le 25/08/2023 : il a permis de mettre en évidence que certaines rues pouvaient être agréablement ventilées pendant cette période (Figure 11).

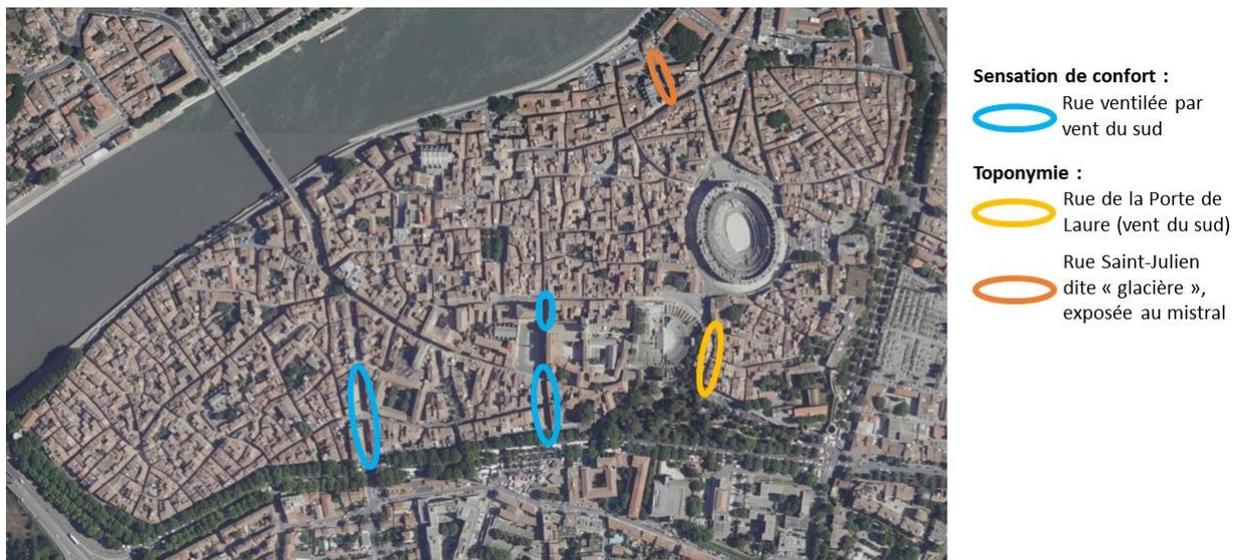


Figure 11 : Carte des rues les plus ventilées selon des données empiriques et la toponymie. Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

L'utilisation de ces résultats pour développer une stratégie de rafraîchissement urbain nécessite quelques précautions. En effet, le vent est un phénomène d'une grande variabilité qui suppose une approche statistique. Si la direction des vents peut être connue précisément à l'échelle du mois, elle est beaucoup plus variable à l'échelle journalière ou horaire. De plus, la forme urbaine bouleverse complètement la circulation des vents et leur direction enregistrée dans les stations météo. Faire reposer une stratégie de rafraîchissement urbain sur l'utilisation du vent est délicat : le vent ne peut être qu'un complément à d'autres stratégies. Il importe de préciser que des solutions existent pour générer de la ventilation en l'absence de vent.

3. Températures de l'air

La ville d'Arles bénéficie d'un climat méditerranéen (type Csa selon la classification de Köppen-Geiger) avec quelques spécificités liées à sa situation par rapport au Rhône et sa proximité avec la Camargue. Les normales de température sur la période 1991-2020 sont données dans les Figures 12 et 13 (données Météo France de la station d'Arles à la Tour du Valat). **Elles ne prennent pas en compte l'effet d'îlot de chaleur urbain.**

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
	La température la plus élevée (°C)												Records établis sur la période du 01-01-1963 au 02-08-2023
	20.4	23.1	25.7	29.3	33	42.8	37.7	38.7	33.8	31.5	25	20	42.8
Date	19-2007	28-2019	31-2012	08-2011	31-2001	28-2019	15-2022	01-2001	01-2016	02-1997	03-1970	23-2022	2019
	Température maximale (moyenne en °C)												
	11.3	12.5	16.2	18.9	22.8	27.1	29.8	29.6	25.3	20.7	15.2	11.9	20.1
	Température moyenne (moyenne en °C)												
	7.3	8	11.2	13.8	17.6	21.5	23.9	23.7	19.8	16.2	11.2	7.9	15.2
	Température minimale (moyenne en °C)												
	3.4	3.4	6.1	8.7	12.4	16	18	17.7	14.4	11.6	7.3	4	10.3
	La température la plus basse (°C)												Records établis sur la période du 01-01-1963 au 02-08-2023
	-10.6	-12	-7.3	-1.7	2.2	6	9.7	8.5	5.5	0.3	-7.4	-6.4	-12
Date	07-1985	05-1963	02-2005	08-2021	04-1967	04-1984	18-2000	29-1986	29-1972	30-2012	23-1998	31-1964	1963

Figure 12 : Normales de température sur la période 1991-2020 (données Météo France de la station d'Arles à la Tour du Valat).

	Nombre moyen de jours avec												
Tx >= 30°C	.	.	.	.	0.5	5.9	16.0	14.1	1.5	0.0	.	.	38.0
Tx >= 25°C	.	.	0.1	0.6	7.6	21.5	29.8	29.6	16.8	2.6	.	.	108.7
Tx <= 0°C	0.1	0.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.0	0.3
Tn <= 0°C	6.3	5.1	1.3	.	.	.	.	.	.	.	1.2	5.3	19.3
Tn <= -5°C	0.1	0.4	0.0	.	.	.	.	.	.	.	0.0	0.1	0.7
Tn <= -10°C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Tn : Température minimale, Tx : Température maximale

Figure 13 : Normales des différents seuils de température sur la période 1991-2020 (données Météo France de la station d'Arles à la Tour du Valat).

Ces données montrent qu'Arles bénéficie d'un climat méditerranéen typique, avec des étés chauds ou très chauds et des hivers doux ou modérément froids. On remarque que l'amplitude nyctémérale des températures (écart entre la température maximale et minimale d'une même journée) est supérieure à 10 °C en période estivale. **Ces conditions sont cependant différentes en ville à cause de l'effet d'îlot de chaleur urbain.**

Des mesures de températures ont néanmoins pu être réalisées dans le centre historique : une station météorologique a été mise en place sur le toit de l'Évêché (Figure 14), à proximité de la place de la République par le bureau d'études DOMENE Scop. Des températures maximales proches de celles enregistrées à la station de la Tour du Valat ont pu être mesurées (Figure 15).



Figure 14 : Photographie de la station météo de marque Davis mise en place par le bureau d'études DOMENE Scop sur le toit de l'Évêché. Crédits : DOMENE Scop, C. Gaillard, Freio – design climatique.

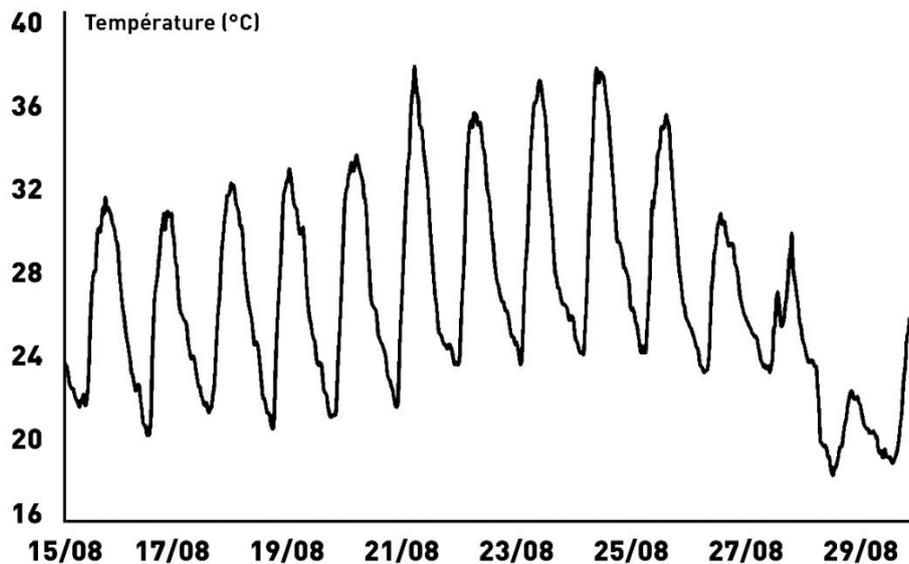
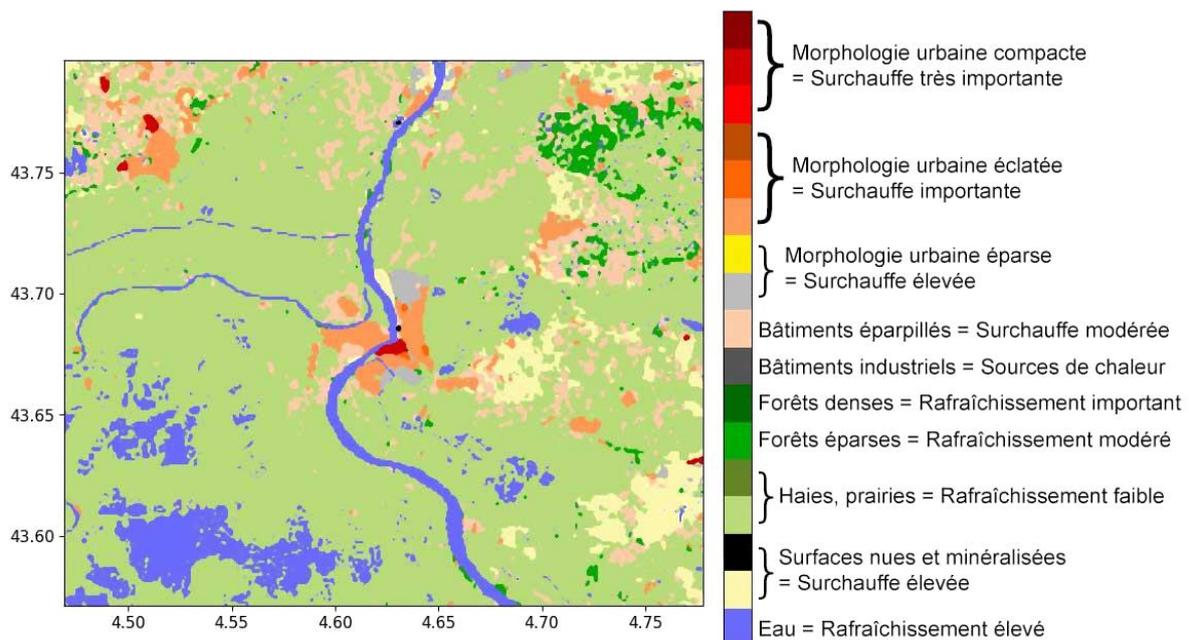


Figure 15 : Graphique des températures mesurées dans le centre historique d'Arles sur la deuxième quinzaine d'août, marquée par une période de canicule. Crédits : DOMENE Scop.

4. Îlot de chaleur urbain

L'effet d'îlot de chaleur urbain est principalement caractérisé par des températures de l'air supérieures en ville par rapport à la campagne en période nocturne. Cet écart est de l'ordre de 3 à 4 °C en moyenne, mais il peut atteindre 10 °C au maximum. Cet effet est principalement causé par la minéralité et l'imperméabilisation des villes. Une carte des zones climatiques locales (LCZ) montre bien cet effet de surchauffe urbaine et de contraste entre la ville d'Arles et la campagne environnante (Figure 16).



LCZ Generator

Figure 16 : Carte des zones climatiques locales pour la ville d'Arles à partir de l'algorithme LCZ Simulator.

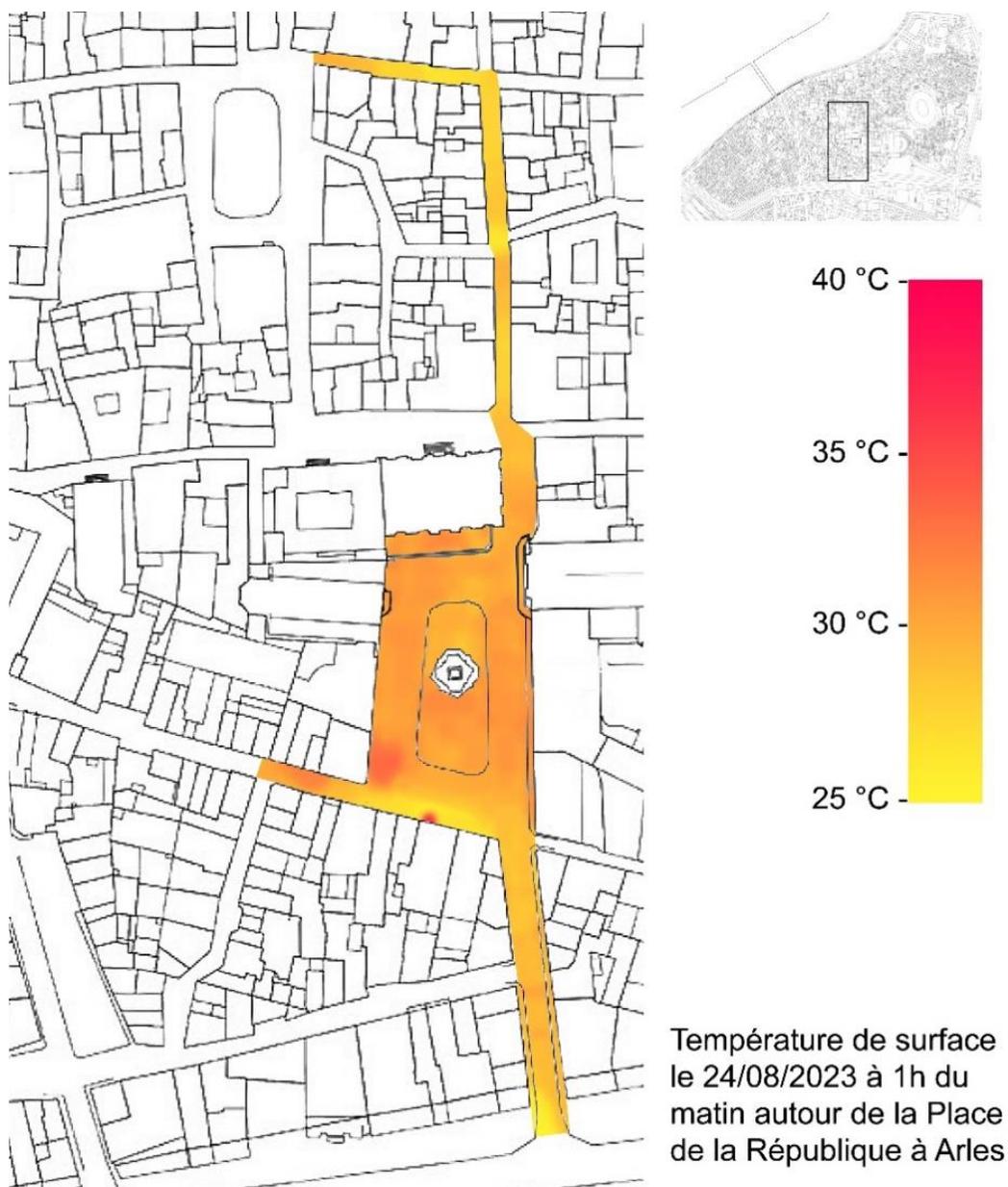


Figure 18 : Température de surface le 24/08/2023 à 1h du matin autour de la place de la République, pour une température de l'air officielle (hors agglomération) de 28 °C. Le point rouge au sud de la place de la République correspond au rejet d'une pompe à chaleur. Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

La Figure 18 met en évidence que la place de la République contribue fortement à l'effet d'îlot de chaleur urbain : les températures de surface y sont globalement plus élevées que dans les rues adjacentes conformément aux simulations du Sky View Factor réalisées. Cela confirme la nécessité de travailler le rafraîchissement de cette zone.

5. Points de fraîcheur extérieurs déjà existants

Plusieurs points de fraîcheur extérieurs remarquables ont été identifiés lors du diagnostic. C'est notamment le cas de la cour de la distillerie située rue Frédéric Mistral, qui bénéficie d'un microclimat particulier qui en fait un îlot de fraîcheur en journée. On y relève des températures de surface très basse par rapport aux autres espaces publics à la même heure (Figure 19). Cela s'explique essentiellement par la morphologie de cette cour, qui est étroite, entourée de murs très haut et ouverte sur l'extérieur par une porte relativement petite. Le fait que cette cour soit très abritée du vent et des échanges de l'air avec l'extérieur permet de stocker une masse d'air frais qui est confinée entre les murs. La porte de la cour étant fermée la nuit, l'air froid plus dense ne s'échappe pas en période nocturne et reste conservé dans la cour (Figure 20).



Figure 19 : Photographie de la cour de la distillerie située rue Frédéric Mistral.
Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

L'ensemble des murs de la cour est composé de pierre, un matériau avec une inertie thermique élevé qui permet de stocker la fraîcheur. La cour est également protégée du rayonnement solaire direct par deux arbres, dont un mûrier à feuilles de platane. Le fait que les versants des toitures en périphérie de la cour soient orientés vers celle-ci contribue aussi au rafraîchissement : à mesure que les toitures et l'air au-dessus des toitures se refroidissent durant la nuit, l'air froid plus dense s'écoule naturellement vers le fond de la cour (Figure 21). Enfin, on peut remarquer des remontées capillaires d'humidité sur certains points du dallage de la cour : l'évaporation de l'eau au niveau de ces zones contribue vraisemblablement à limiter l'élévation de la température de surface du sol.

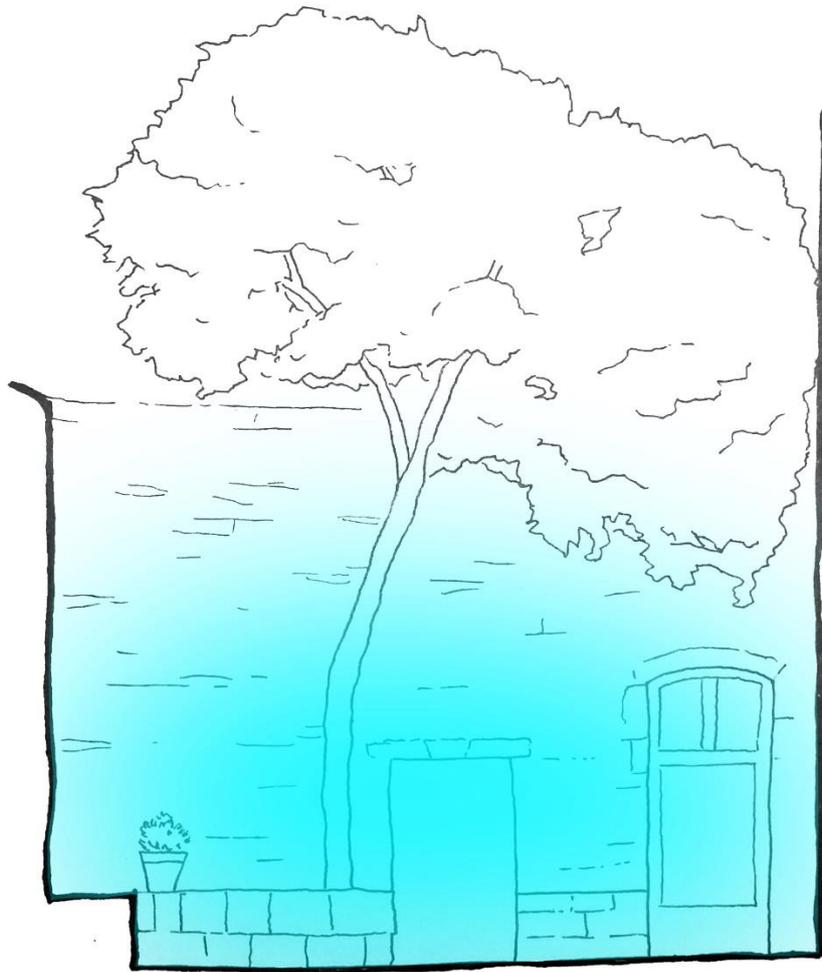


Figure 20 : Illustration du stockage de l'air frais plus dense entre les murs de la cour.
Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

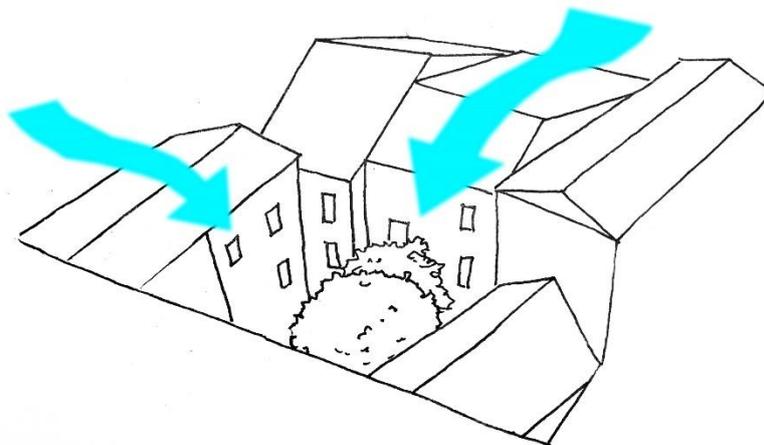


Figure 21 : Illustration de l'écoulement de l'air froid le long des pentes des toitures refroidies par rayonnement.
Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

L'étroitesse de cette cour contribue grandement à ses qualités thermiques. La proportion largeur/hauteur des bâtiments alentour permet de bien l'abriter des mélanges d'air à la manière d'un patio. On peut opposer cette typologie de cour étroite à la cour de l'espace Van Gogh, qui est un lieu très fréquenté par les touristes en période estivale et qui bénéficie d'une petite fontaine centrale donnant sur un bassin en eau. Cependant, le rafraîchissement produit par cette fontaine est inefficace pour refroidir l'air de la cour étant donné ses dimensions (Figure 22) : l'air refroidi est continuellement mélangé et brassé, ce qui dégrade fortement les qualités microclimatiques de cette cour.

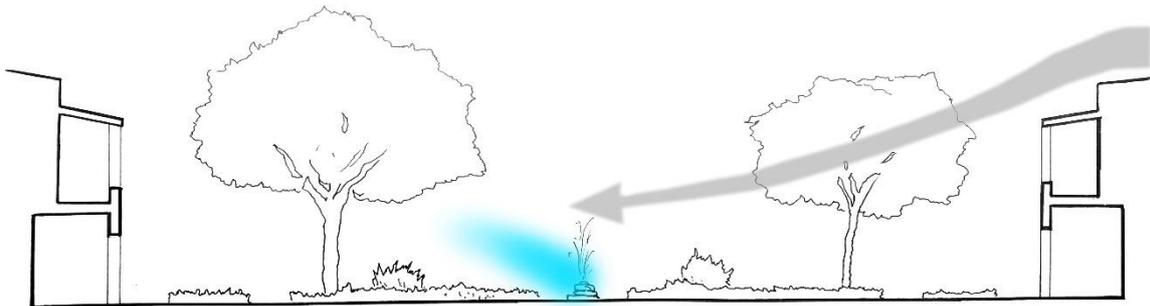


Figure 22 : Illustration des faibles qualités microclimatiques de la cour de l'espace Van Gogh à cause du brassage de l'air refroidi par évaporation de la fontaine.
Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

D'autres points de fraîcheur remarquables ont pu être identifiés : il s'agit des soupirails qui donnent sur l'espace public et qui permettent de ventiler les caves des bâtiments anciens (Figure 23). Si ces caves n'ont pas été cuvetées et imperméabilisées, les remontées d'humidité par le sol permettent d'y maintenir des températures assez faibles en période estivale (15 °C-25 °C), proches de la température moyenne annuelle (Figure 24). À proximité des soupirails, on peut alors sentir un effet de paroi froide qui pourrait être exploité afin d'offrir un petit point de fraîcheur aux piétons en période estivale.



Figure 23 : Photographie d'un soupirail donnant sur une rue.
Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

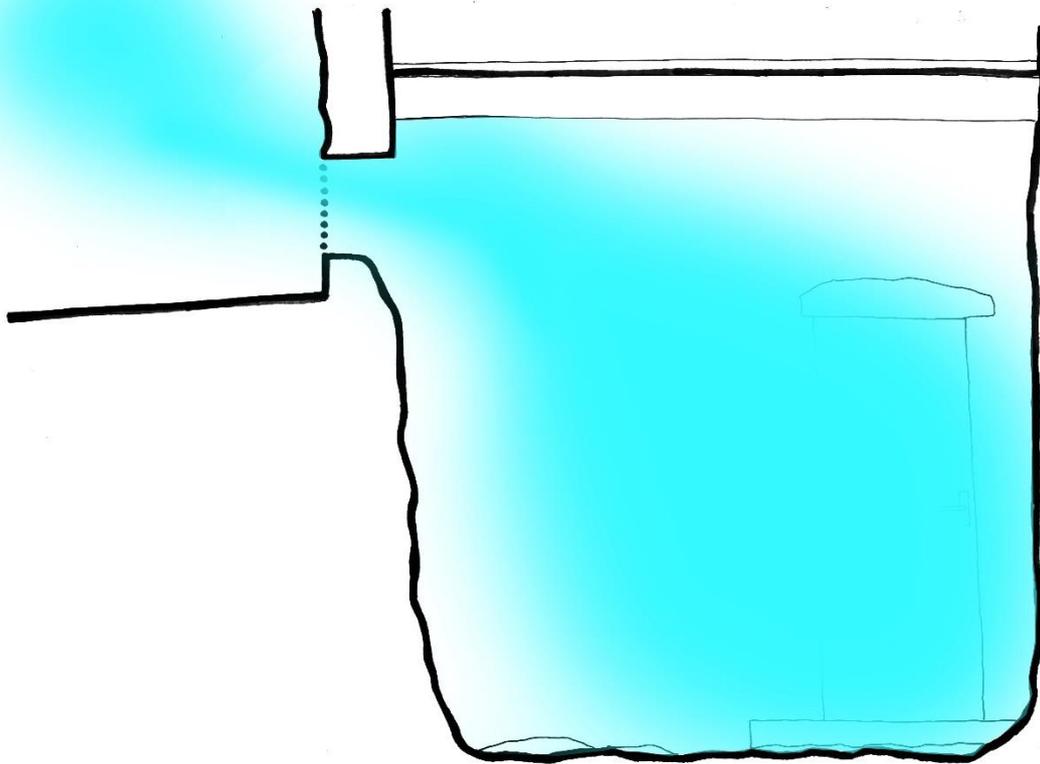


Figure 24 : Illustration de la masse d'air refroidie dans la cave et de l'effet de paroi froide d'un soupirail.
Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

6. Gestion des eaux pluviales

La ville d'Arles est extrêmement minéralisée et les espaces de pleine terre sont très rares. Le sous-sol du centre historique de la ville est par ailleurs encombré par différents éléments qui limitent les possibilités de plantation et de désimperméabilisation (Figure 25). Du point de vue hydrologique, le ruissellement en période de précipitation est important. La proportion entre ruissellement et évapotranspiration varie considérablement entre une ville imperméabilisée et milieu naturel. Dans une ville très imperméabilisée comme Arles, on estime que la part des précipitations qui s'évaporent et contribuent au refroidissement des surfaces urbaines est inférieure d'environ 5 % par rapport à une zone semi-imperméabilisée (village, zone pavillonnaire, etc.). Cette valeur de 5 % sera retenue pour estimer la part des précipitations qui pourrait être utilisée pour le rafraîchissement urbain en désimperméabilisant la ville et en favorisant le stockage des précipitations en surface.

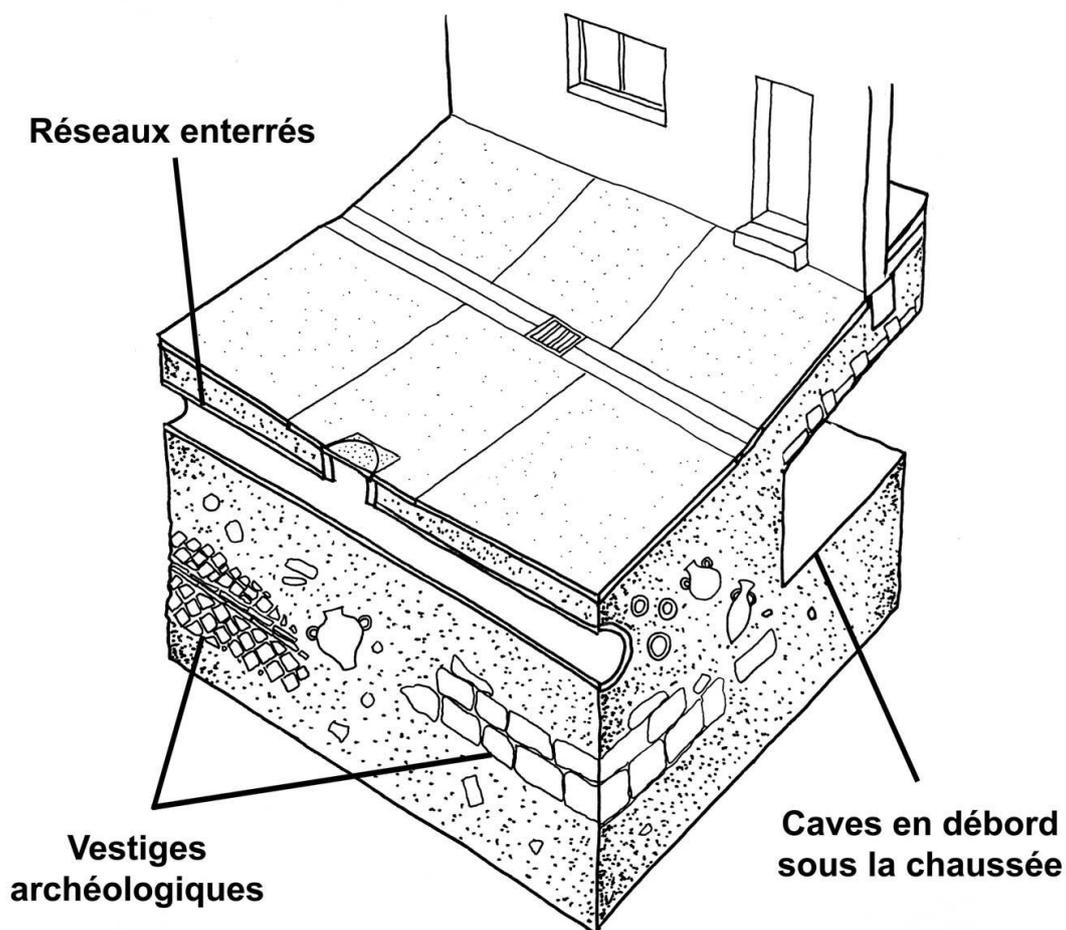


Figure 25 : Illustration des principaux éléments présents dans le sous-sol du centre historique d'Arles qui limitent les possibilités de désimperméabilisation. Crédits : C. Gaillard, Freio – design climatique.

Les normales de précipitation sur la période 1991-2020 sont données dans la Figure 26 (données Météo France de la station d'Arles à la Tour du Valat). Le cumul des précipitations pour les mois de juin (27 mm), juillet (12,9 mm) et août (26,9 mm) est de 66,8 mm.

Hauteur de précipitations (moyenne en mm)												
53.5	33.3	33.9	57.3	40.1	27	12.9	26.9	83.7	80.9	76.5	43.6	569.6

Figure 26 : Hauteur moyenne des précipitations pour chaque mois (et total en gras) sur la période 1991-2020.

Puisque 1 mm = 1 litre/m², les quantités d'eau précipitées pour ces trois mois peuvent être estimées, ainsi que la fraction (5 %) qui est ruisselée et qui pourrait directement contribuer au refroidissement. Les valeurs sont données ici :

- juin : 27 litres/m², dont 1,3 litres/m² pourrait contribuer au refroidissement ;
- juillet : 12,9 litres/m², dont 0,6 litres/m² pourrait contribuer au refroidissement ;
- août : 26,9 litres/m², dont 1,3 litres/m² pourrait contribuer au refroidissement.

On sait par ailleurs que l'évaporation de 1 litre d'eau à température ambiante absorbe environ 2 400 KJ (2 400 000 J). On peut ainsi estimer le rafraîchissement que pourrait produire cette fraction des précipitations retenue grâce à la désimperméabilisation. Elle serait de :

- 3 120 KJ/m² en juin, soit environ l'équivalent du rafraîchissement produit par 1 climatiseur (de 2 kW) fonctionnant pendant environ 30 minutes ;
- 1 440 KJ/m² en juillet, soit environ l'équivalent du rafraîchissement produit par 1 climatiseur (de 2 kW) fonctionnant pendant environ 10 minutes ;
- 3 120 KJ/m² en août, soit environ l'équivalent du rafraîchissement produit par 1 climatiseur (de 2 kW) fonctionnant pendant environ 30 minutes ;

Tous ces chiffres doivent être nuancés, ils servent à montrer que le potentiel de rafraîchissement produit par une gestion intégrée des eaux pluviales (désimperméabilisation et stockage en surface) est important.

7. Préconisations générales

Tous les éléments suivants amènent à proposer les préconisations suivantes pour améliorer le confort thermique extérieur dans le centre historique de la ville d'Arles :

- 1) Il faut en priorité ombrager les zones critiques sur la base des simulations d'ensoleillement et des témoignages des habitants (place de la République...). Ces dispositifs d'ombrage devraient être ventilés.
- 2) Il est indispensable de conserver les eaux pluviales en surface dans les points les plus hauts de la ville et de maximiser l'évaporation de l'eau dans les zones abondamment minéralisées en faisant contribuer les citoyens (arrosage régulier). Une autre piste peut être d'exploiter la capillarité naturelle de certains matériaux (pierre ?).
- 3) Il est nécessaire de signaler des points de fraîcheur (sorties de soupiraux, etc.) par du mobilier approprié.