

CHAPITRE 2

ANALYSE BIOCLIMATIQUE LAUSANNOISE

Muriel Delabarre, Serge Nasilli et Ricardo Fernandes

L'habitabilité des milieux de vie est au cœur des inquiétudes contemporaines pour le devenir du vivant. Elle l'est particulièrement en ville, écosystème artificiel qui consomme, produit et entretient d'indispensables échanges matériels avec un support écologique beaucoup plus vaste [CLAVAL 1981]. La ville s'approvisionne dans son environnement et elle y rejette des déchets et émissions polluantes, des eaux usées, mais aussi de la chaleur dissipée dans l'atmosphère [ODUM 1953]. L'intérêt pour la maîtrise de l'empreinte écologique dans un monde qui sera inévitablement plus chaud demain, conduit à repositionner les villes et leurs métabolismes dans leurs rapports à la biosphère et à comprendre comment orienter le développement urbain pour rendre la ville vivable dès aujourd'hui. La discipline urbanistique y contribue en cherchant notamment à comprendre la spécificité des configurations spatiales urbaines soumises à l'effet de l'îlot de chaleur pour enclencher des mesures adaptatives en faveur d'un urbanisme résilient.

L'originalité de l'écosystème de la ville se lit à travers son bilan d'énergie, son cycle de l'eau, son cycle du carbone et des nutriments, sa production primaire. Les matériaux dominants en ville présentent un albédo, c'est-à-dire une capacité à réfléchir l'énergie incidente, faible, en conséquence de quoi rues et bâtiments absorbent le rayonnement solaire, s'échauffent et émettent des infrarouges thermiques, c'est-à-dire augmentent la température de l'atmosphère comparativement à ce qui se produit dans les zones rurales [OKE 1982]. Ce phénomène connu sous le nom d'îlot de chaleur urbain (ICU) est amplifié par la forme urbaine (paramètres morphologiques), les caractéristiques des revêtements et la part de végétal (paramètres surfaciques) ou encore la concentration d'activité humaine (paramètres anthropiques). L'impact de chaque paramètre est variable en fonction de l'échelle analysée (du grand territoire à celle d'un citadin) et au moment de la journée, de la nuit ou encore selon la saison. Par exemple, l'ampleur des ICU des villes suisses peut atteindre 5 à 7°C en été [FALLOT & REBETEZ 2008; GEHRIG & AL. 2018]. Compte tenu de l'intensification des vagues de chaleur et de leur durée, les canicules en ville sont plus fortes et plus nombreuses qu'à la campagne. Dans une certaine mesure, la ville d'aujourd'hui préfigure la situation qui prévaudra à l'échelle planétaire dans quelques décennies.



Vue panoramique sur Lausanne.

Face à ce problème climatique, il faut préparer la ville pour demain. Une approche bioclimatique à l'échelle de la Ville de Lausanne, intégrant des cartographies des ICU ainsi que de la végétation – dont la canopée –, constitue un premier pas essentiel dans l'identification des secteurs urbains vulnérables sujets aux impacts les plus importants. Une telle approche permet également de porter une réflexion en direction des îlots de fraîcheur, leviers intéressants pour ménager des espaces habitables en accompagnement de vagues de chaleur à venir et pour se préparer à des vagues climatiques extrêmes. Cette approche conjointe, considérant les vulnérabilités et les sites d'opportunités de fraîcheur, permet de définir les premiers jalons pour installer une future trame fraîche bioclimatique pour Lausanne [voir chapitre 4].

Sur la base d'une approche descriptive et statistique, le chapitre qui suit présente en premier lieu un diagnostic bioclimatique à l'échelle de Lausanne en portant, pour l'essentiel, un intérêt en direction de l'effet et des limites de la couverture végétale sur les ICU en tant que générateur d'îlots de fraîcheur. La deuxième partie dresse un diagnostic des 17 quartiers lausannois et tente de comprendre, par une approche comparative, la structure de ces derniers en tant que générateurs de ressources territoriales fraîches.

DIAGNOSTIC BIOCLIMATIQUE LAUSANNOIS

INVESTIGATIONS ET PRÉCISIONS MÉTHODOLOGIQUES: L'APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION

Afin de mettre en place des solutions de rafraîchissement urbain adaptées à chaque contexte, il est nécessaire d'établir un diagnostic pour déterminer la localisation des ICU. Pour ce faire, l'ensemble des techniques utilisées pour déterminer à distance les propriétés d'objets naturels ou artificiels à partir des rayonnements qu'ils émettent ou réfléchissent via la télédétection est un apport essentiel. Bon nombre d'études concernant les ICU se basent sur des données issues de la télédétection et plus précisément du programme Landsat, notamment le satellite Landsat 8, étant muni d'un capteur infrarouge thermique (Thermal Infrared Sensor – TIRS). Sa popularité peut s'expliquer par plusieurs facteurs: son lancement en 1972 qui le place comme le plus ancien programme ininterrompu d'observation de la Terre, sa gratuité, sa couverture de l'entièreté de la surface terrestre à une échelle relativement bonne résolution et, enfin, sa capacité à capturer la surface terrestre selon un cycle répétitif de 16 jours, en balayant une surface suffisamment grande pour permettre de traiter une seule image pour toute une ville [BOVAY 2020].

Le canton de Vaud a mené dans le cadre du plan d'action Biodiversité 2019-2030 une étude présentant d'une part les Températures au Sol (TS) dans les communes en lien avec leur couverture végétale et l'activité photosynthétique qui en résulte et, d'autre part, l'étendue de la canopée [N+P 2021]. Plus précisément, les données de l'étude basées sur celles de Landsat 8 [USGS 2017] donnent à observer le territoire en date du 26.08.2017, aux alentours de 10h-11h [USGS 2017], lors d'une journée sans couverture nuageuse et avec une résolution de 30 mètres.

Pour notre recherche, nous nous appuyons sur ces données produites à l'échelle du Canton, fournies par la Ville de Lausanne dans le cadre du programme de recherche «Interact III Maillon et Vision d'une Trame de fraîcheur Lausannoise» [2021-2022]. Dans cette mesure, il convient d'apporter des éléments de précision méthodologique quant au calcul de ces données pour le bon suivi de cette étude. Les TS extraites se basent sur la bande 11 du Landsat 8 et permettent de localiser et définir des classes de chaleur sur la base de l'écart à la température cantonale moyenne enregistrée lors du même relevé. Ainsi, chaque point du territoire possède une valeur correspondant au calcul de l'écart à la température moyenne de l'ensemble du territoire cantonal. Cette valeur est classée selon trois catégories: élevée, très élevée ou extrêmement élevée. La classe correspond à l'écart respectif d'une, deux ou trois déviations standards de la température moyenne de l'ensemble du territoire cantonal. Partant de ces trois premières classes, toutes

valeurs en deçà d'une déviation standard sont considérées comme moyennes ou basses [N+P 2021].

Concernant la couverture végétale, l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) est calculé sur la base des bandes 4 et 5 du Landsat. Cet indice se base sur l'activité photosynthétique qui reflète l'intensité et la vitalité de la végétation dont les valeurs théoriques peuvent aller de -1 à 1. Dans le cas de l'étude cantonale, il est considéré que l'activité photosynthétique, et donc la couverture végétale, est élevée pour un NDVI > 0.25 et très élevée pour un NDVI > 0.375. Dès lors, toute valeur égale ou inférieure à 0.25 peut être considérée comme moyenne ou basse [USGS 2017] et l'étude considère que la couverture végétale est négligeable.

Les résultats obtenus dans l'étude susmentionnée (TS, couverture végétale et leur mise en classe) seront une base pour notre recherche. Pour notre part, nous augmenterons et préciserons ces résultats pour les appliquer à l'échelle de la Ville de Lausanne puis à ses quartiers. Pour atteindre ce niveau de précision, les données produites à l'échelle de l'ensemble du canton seront reprises, puis redécoupées finement afin de conserver uniquement les données du territoire lausannois et ce, sans les surfaces du lac Léman¹.

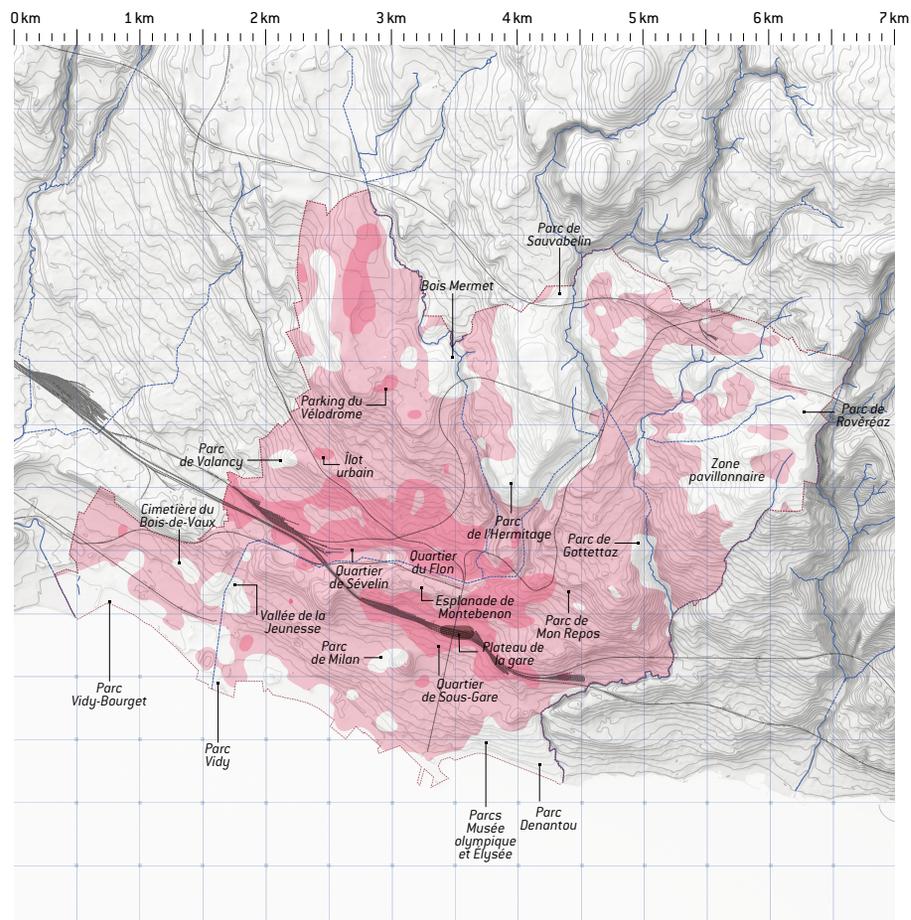
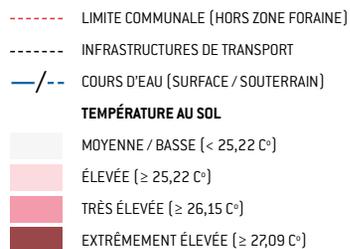
LES ICU ET LEUR RÉPARTITION SUR LE TERRITOIRE LAUSANNOIS

Afin de mener un diagnostic bioclimatique à l'échelle de Lausanne, il convient de comprendre les TS qui composent les sites grâce aux images satellites Landsat 8. La cartographie produite permet de remarquer que la quasi-totalité de Lausanne est concernée par des températures *a minima* «élevées» et que d'autres espaces, sous forme de poches plus ou moins étendues, possèdent des températures «très élevées» voire «extrêmement élevées» [ill. 1]. Ces deux dernières classes sont considérées puis qualifiées dans la suite de la recherche comme des ICU. Ce choix ne s'arrête pas à leur géométrie, mais intègre le fait du changement d'échelle opéré entre les données classées pour l'étude cantonale et leur réutilisation à l'échelle lausannoise.

En observant plus finement la localisation de ces ICU, on remarque que ces derniers ne sont pas uniformément répartis à l'échelle de la ville. Est concerné au premier rang par un tel phénomène le plateau de la gare centrale, avec des températures extrêmement élevées atteignant un maximal de 27,4°C. Cette température est supérieure de 3°C par rapport à l'un des points les plus frais du territoire lausannois (24,1°C, dans le parc d'agglomération de Sauvabelin); supérieure de 1,9°C par rapport à la moyenne lausannoise (25,5°C); supérieure de plus de 9°C par rapport au point le plus frais du canton (18,2°C); et supérieure de 3,2°C par rapport à la moyenne cantonale (24,3°C). D'autres espaces sont également vulnérables et soumis à des ICU:

¹ À noter également que les zones foraines, situées sur les hauts de Lausanne et non contiguës au tissu de la ville constituée des 17 quartiers lausannois, n'ont pas été intégrées à ce redécoupage fin. Considérant que la recherche vise avant tout à comprendre les ICU en milieux urbains à l'échelle de la ville mais aussi de ses quartiers, ces «zones foraines» représentent des objets trop spécifiques pour mener une approche de type comparative entre quartiers. Enfin, notons que ce découpage n'a pas d'effet sur les classes et la localisation des ICU (et donc leurs classes), ces derniers sont en effet définis sur la base de la moyenne cantonale et sont donc indépendants de tout découpage.

1 Répartition des températures au sol [TS] [actéon | OUVDD 2022].



les secteurs le long des infrastructures ferroviaires, l'aéroport de la Blécherette ou encore des emprises bitumées telles que le parking du vélodrome ou le cœur d'îlots au nord du parc de Valancy avec des températures très élevées. Il en va de même pour les secteurs densément bâtis du centre lausannois, notamment le centre historique, les quartiers du Flon et de Sévelin qui s'étendent en direction de l'Ouest lausannois, ou encore le quartier Sous-Gare-Ouchy. Ces ICU enregistrent ainsi des températures moyennes de plus de 2°C par rapport au parc d'agglomération de Sauvabelin. Dans ces secteurs chauds, nous comprenons aisément que la concentration d'entrepôts peu ou pas isolés, d'espaces de stationnement bitumés et de larges voiries de desserte circulées constituent des facteurs cumulatifs responsables d'une augmentation localisée des températures de surface.

À la lecture de la carte, on notera que certains secteurs pourtant à prédominance végétalisée, enregistrent des températures élevées *a minima*. C'est le cas notamment des secteurs agricoles de la Blécherette ou du parc d'agglomération de Rovéréaz. Parfois, des terrains de sport comme celui du parc de Vidy enregistrent également des températures considérées *a minima* comme élevées. Concernant les secteurs à dominante agricole, ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les champs ont pu être labourés lors du passage du satellite Landsat 8, ce qui augmente significativement les températures. Concernant les terrains de sport, les revêtements surfaciques en matériaux synthétiques de ces derniers réagissent facilement aux températures, ce qui peut expliquer ces résultats.

LES FACTEURS DE RAFRAÎCHISSEMENT: LA VÉGÉTATION, UN ÉLÉMENT PARMIS D'AUTRES

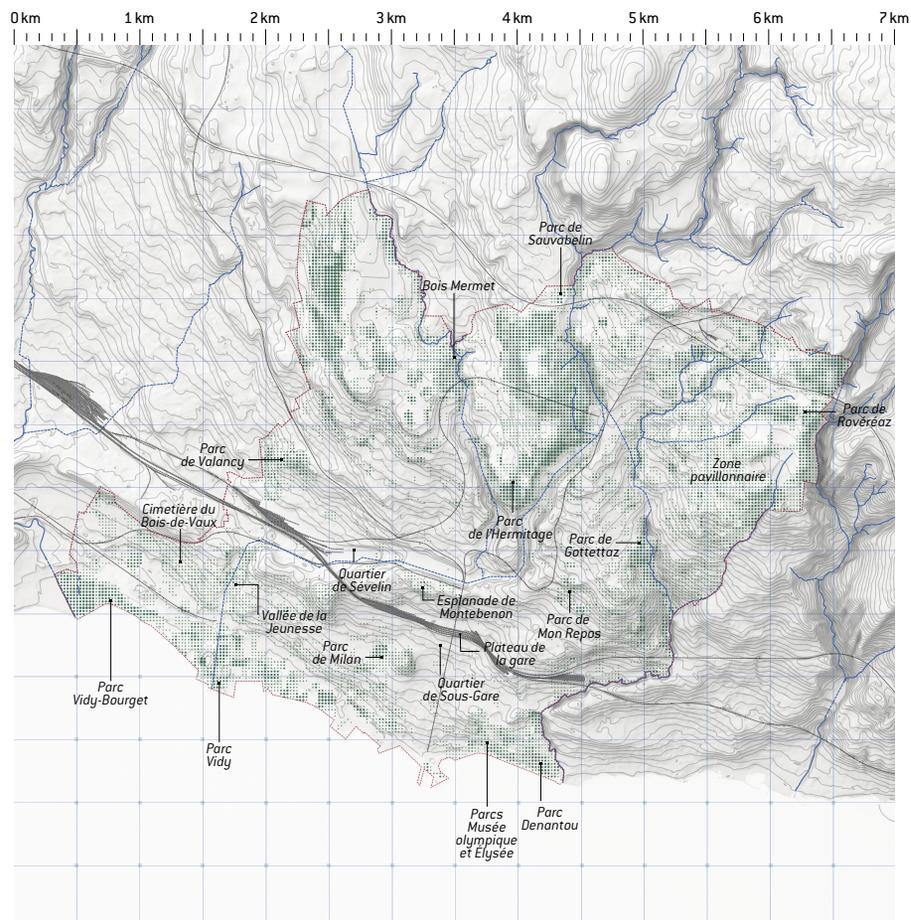
L'analyse des ICU révèle que le territoire n'est pas homogène face à ce phénomène. Nombreux facteurs peuvent expliquer cette répartition spatiale et parmi ceux-là, celui de la végétation en présence. Par l'intermédiaire de ses capacités rafraîchissantes liées aux processus d'évapotranspiration notamment [CHEN & AL. 2006; FEYISA & AL. 2014; GUHA & AL. 2018; LO & AL. 1997; RIZWAN & AL. 2008; WENG & AL. 2004], la capacité d'ombrage en journée [AKBARI & AL. 2001; ALI-TOUDER & MAYER 2007; DE ABREU-HARBICH & AL. 2015], la fraîcheur produite pendant la nuit par les surfaces enherbées ouvertes [DOICK & AL. 2014], la végétation joue un rôle primordial comme [micro]-climatiseur urbain.

Dès lors, l'analyse qui suit qualifie le lien qui existe entre TS et végétation et la capacité, mais aussi les limites, de cette dernière à créer des îlots de fraîcheur. Ainsi, dans les lignes qui suivent, nous considérons ces îlots comme des lieux ressources frais en comparaison de secteurs environnants plus chauds lorsqu'ils sont soumis à des vagues de chaleur. Plus précisément, sur la base de nos données, les îlots de fraîcheur se trouvent là où les TS sont en deçà des valeurs considérées comme élevées. Pour mener cette étude, la télédétection est également une alliée. En portant un intérêt au NDVI, soit la mesure de l'activité photosynthétique caractérisée par l'intensité et la vitalité de la végétation, on peut établir une cartographie de cet indice [ill. 2]. À l'image de l'étude cantonale, le NDVI est considéré comme élevé pour un indice > 0.25 et très élevé pour un indice > 0.375.

L'analyse de la présence d'une couverture végétale caractérisée ici par l'activité photosynthétique des sujets végétalisés nous renseigne sur la localisation d'une typologie de formes environnementales présentes en tissu constitué: en creux des pointillés, on devine l'implantation des forêts et des cordons boisés, des parcs et des jardins publics et privés, des fragments végétalisés interstitiels dont l'ossature a été présentée dans

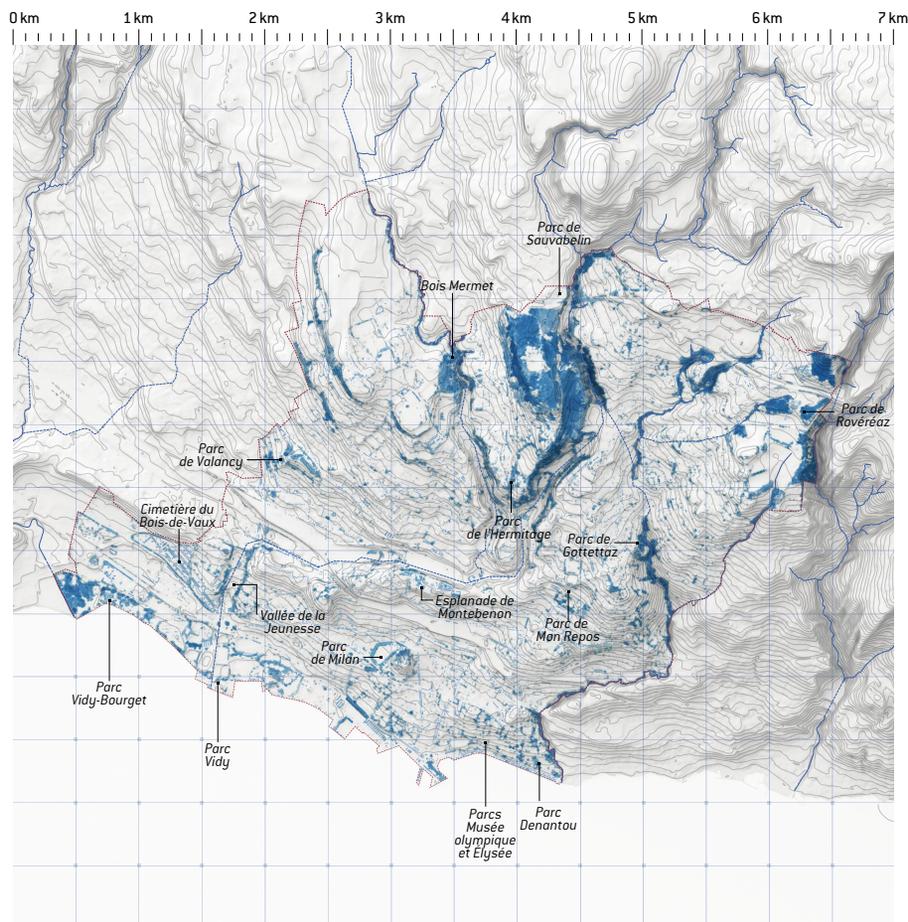
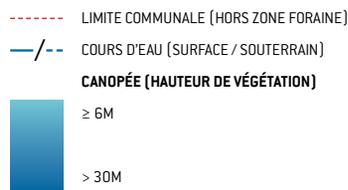
2 Répartition de la couverture végétale [NDVI] [actéon | OUVDD 2022].

- - - - - LIMITE COMMUNALE (HORS ZONE FORAINE)
- - - - - INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT
- / — COURS D'EAU (SURFACE / SOUTERRAIN)
- COUVERTURE VÉGÉTALE (NDVI)**
- ÉLEVÉE (> 0.25)
- TRÈS ÉLEVÉE (> 0.375)



le premier chapitre de cet ouvrage. Les grandes structures paysagères de Lausanne se dessinent, constituées par les espaces agricoles de la Blécherette ou les parcs d'agglomération au nord, à l'image de celui de Sauvabelin ou encore de Roveréaz ou, plus au sud, le long du lac avec ceux de Vidy et de Denantou. Ils sont les bases majeures d'un système de grands parcs à l'échelle communale. En appui sous forme de structure secondaire, ce système est accompagné par des parcs de plus petites tailles à l'image du parc de Milan – véritables relais du maillage urbain lausannois. Si l'on se base sur la canopée, le niveau de lecture est encore plus précis pour comprendre la répartition spatiale de la végétation dans des mailles plus fines [ill. 3]. À noter, la canopée est définie dans cette étude comme étant l'espace couvert par une végétation arborée avec une hauteur de 6m ou plus. Nous considérons 6 m comme

3 Répartition de la canopée [actéon | OUVDD 2022].



étant la hauteur minimale pour que l'arbre puisse offrir ses services bioclimatiques, à l'image de l'ombrage ou encore de l'évapotranspiration. Réalisée sur la base du modèle de hauteur de la végétation de l'Inventaire forestier national suisse (IFN) de 2019, cette donnée dont la résolution est très fine (1 m), permet d'identifier des structures jusqu'alors invisibles sur la base de la cartographie du NDVI. Une nouvelle lecture des structures paysagères apparaît avec des structures boisées au sein des parcs et des espaces à dominante minérales (parking du Tunnel par exemple) ainsi que les allées, structures plus fines que le cordon boisé susmentionné.

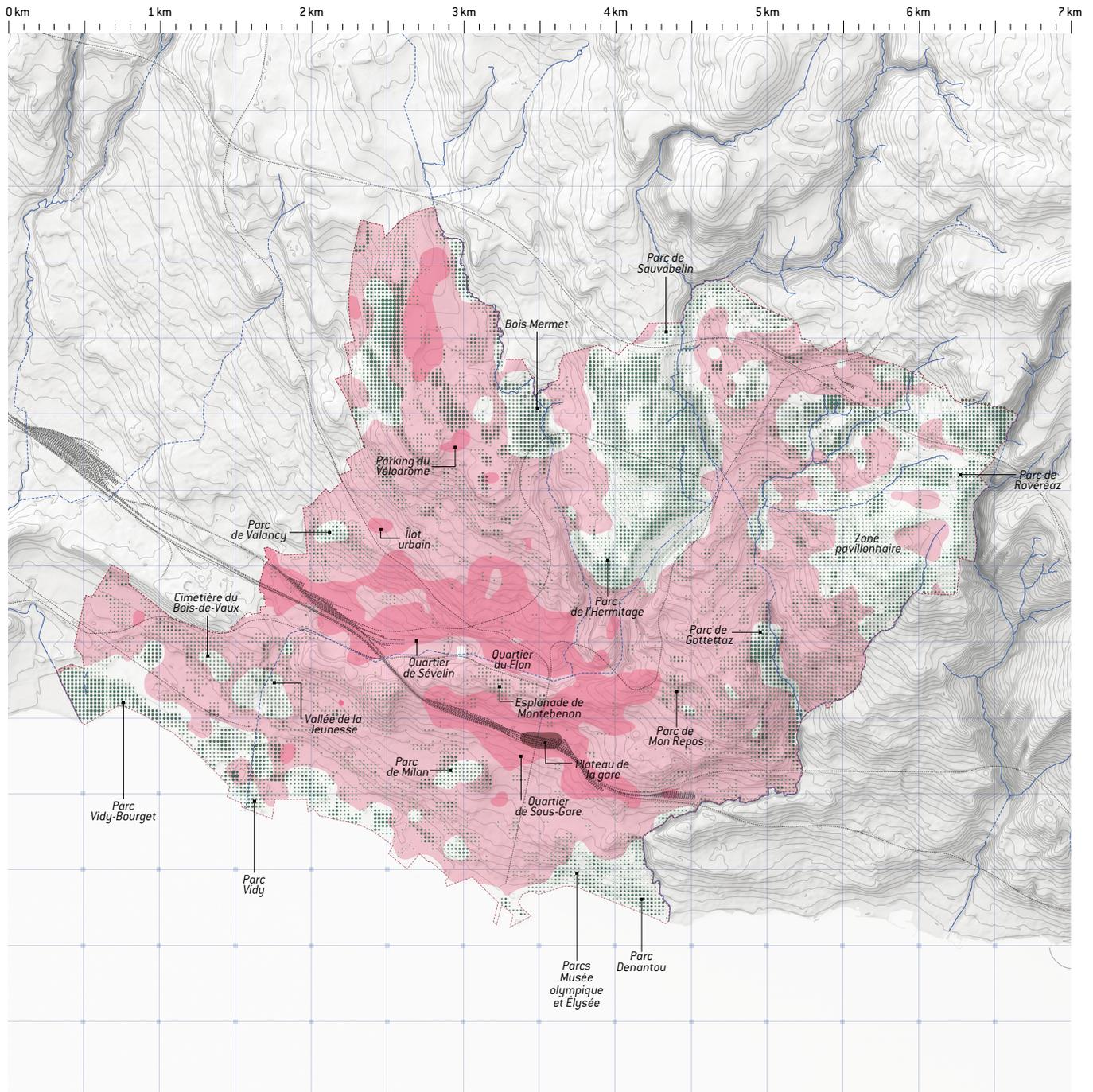
Ces éléments livrent des orientations pour la future trame fraîche présentée dans le chapitre 4 et donnent déjà à lire un système de trame végétalisée. Dans sa forme la plus aboutie, elle est visible en cordon boisé accompagnant le cours d'eau de la

Vuachère qui relie les parcs de Gottettaz et de Denantou. Les ruptures hachées de ce système s'observent pour beaucoup au centre de la commune et dans les quartiers situés sur toute la frange nord, le long du plateau intermédiaire ferroviaire.

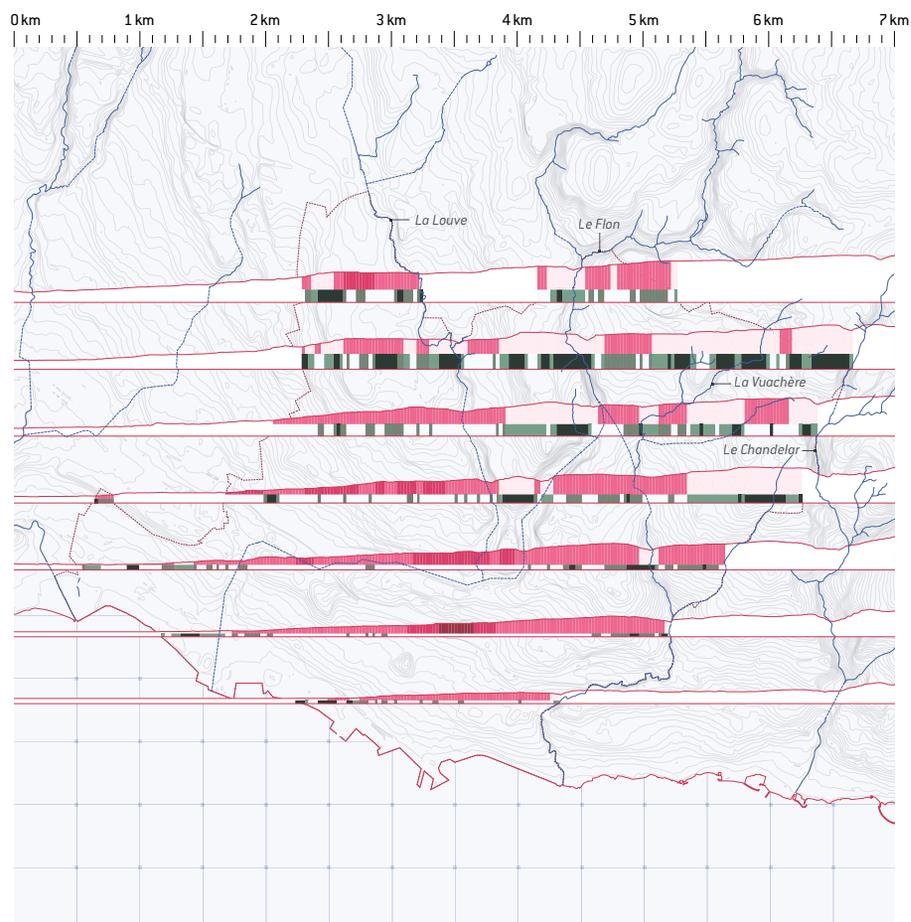
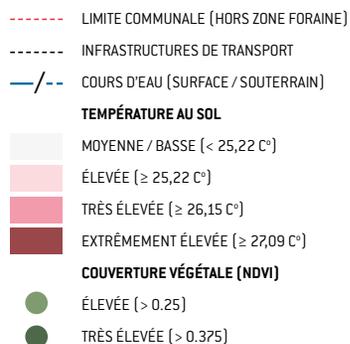
Par recouplement, en croisant le NDVI, la hauteur de la canopée et la répartition des TS, on constate que les températures les moins élevées se situent en général au niveau des emprises de la végétation, et inversement. Ainsi, si l'on procède à l'extraction des données dont le NDVI est élevé et très élevé puis, en les croisant avec l'ensemble des classes de TS, on observe que des espaces caractérisés par leur couverture végétale importante se comportent comme des îlots de fraîcheur au milieu des espaces enregistrant les classes de températures élevées voire très élevées et extrêmement élevées [ill. 4]. Les rives du lac, le parc linéaire Vidy, le parc de Denantou et le parc d'agglomération de Vidy, les espaces agricoles comme ceux de la Blécherette, une partie de la Vallée de la Jeunesse et du cimetière du Bois-de-Vaux, le Bois Mermet et les parcs de Gottettaz, de l'Élysée et du Musée olympique, de Valency (en partie), de Milan et de la colline de Montriond (en partie) ou encore ceux de l'Hermitage et du parc d'agglomération de Sauvabelin participent à cette chaîne de ressources fraîches. Ce dernier, qui s'étend jusqu'à la pointe de la place du Tunnel en plein centre-ville est un bon exemple de la capacité des lieux susmentionnés à générer des îlots de fraîcheur. Avec son emprise au sol de près de 90 ha, la température au sol de cette mégastucture de refuge climatique peut y être inférieure de presque 2,3°C par rapport aux espaces urbains qui la bordent. Des secteurs pavillonnaires sont eux aussi exclus des ICU compte tenu de leur tissu bâti plus lâche dans lequel on trouve de nombreux



Vallée de la Jeunesse.



← 4 Répartition croisée des îlots de chaleur urbains [ICU], températures au sol [TS] et de la couverture végétale [NDVI] [actéon | OUVDD 2022].



5 Répartition croisée des températures au sol [TS] et de la couverture végétale [NDVI] selon la topographie [actéon | OUVDD 2022].

jardins et cœurs d'îlots arborés à l'image de certains secteurs pavillonnaires à l'ouest du parc d'agglomération de Rovéréaz.

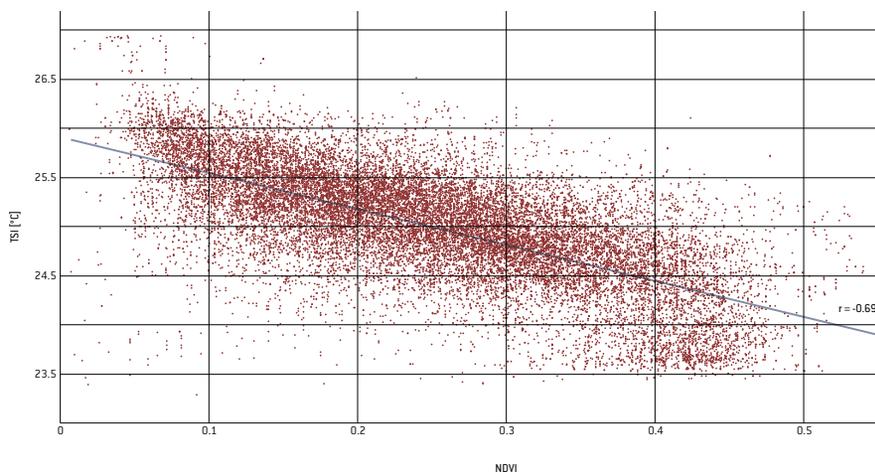
Si l'on procède à l'extraction des données dont le NDVI est considéré comme élevé et très élevé et les TS très élevées et extrêmement élevées, on observe que les ICU sont présents là où les classes de NDVI susmentionnées sont absentes: les espaces les plus chauds de Lausanne sont là où la végétation est peu présente, voire inexistante [ill. 4].

De cette croisée entre les TS et la végétation, il est intéressant de souligner que Lausanne est un territoire creusé par des régimes hydrographiques qui sont à leur tour épousés par des cortèges végétalisés. Ainsi, il est possible d'observer que les espaces de fraîcheur susmentionnés sont parfois parcourus par des cours d'eau à

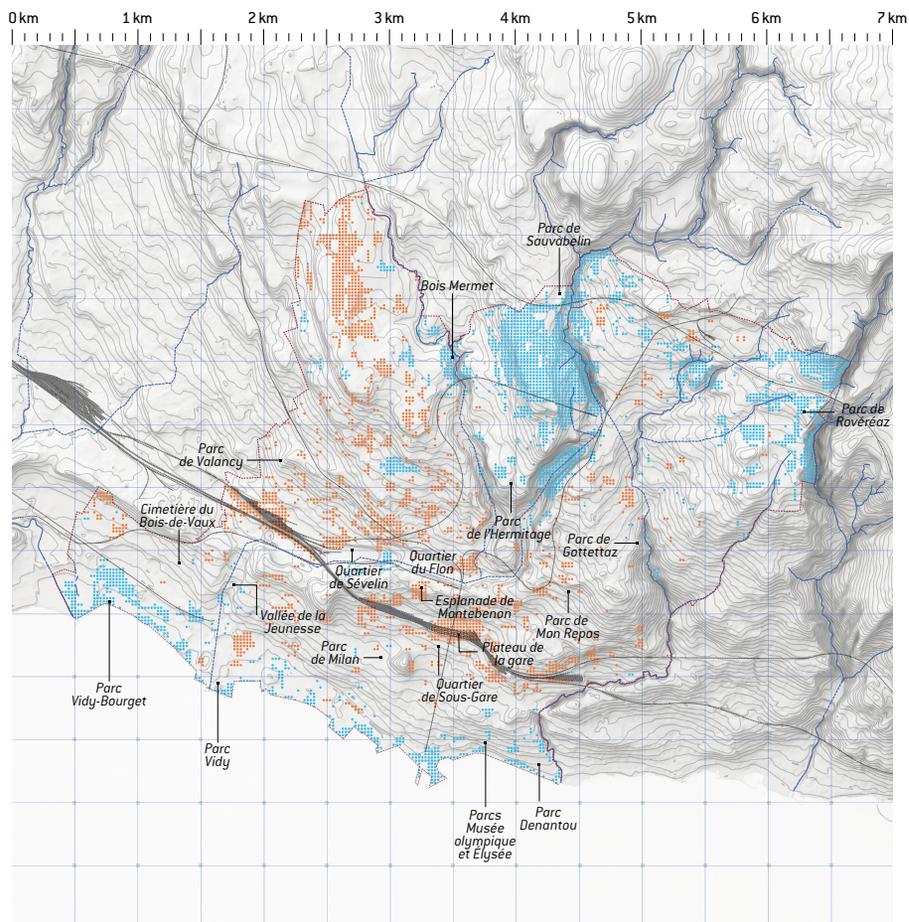
² Considérant les îlots de chaleur lausannois, une première étude de ce type a été réalisée et a montré une corrélation négative avec des valeurs significatives (-0.81) [BOVAY 2020]. En croisant nos données de TS et du NDVI circonscrites à l'échelle du territoire lausannois, à l'exception des zones foraines et du lac Léman, on observe qu'il existe bien une relation entre la TS et le NDVI, au travers d'une corrélation aussi négative et significative de l'ordre de -0.69 [ill. 6]. Même si cette valeur n'est pas égale à l'étude susmentionnée (différents facteurs peuvent expliquer cela, évoquons notamment les dates des relevés par télédétection et des périmètres d'étude différents), les deux corrélations portent le même message et viennent donc confirmer ce que nous avons observé jusqu'à présent: les températures les moins élevées se trouvent bien là où la végétation est la plus développée; a contrario, les températures les plus élevées sont mesurées dans les zones où la couverture végétale est la moins dense. Néanmoins, bien que cette corrélation soit négative et significative, elle n'est pourtant pas parfaite car non égale à -1. Ce constat laisse apparaître que la présence de végétation ne peut pas, à elle seule, expliquer les TS; d'autres facteurs entrent en jeu. Afin de mieux comprendre ce constat et donc de mieux cibler le rôle de la végétation, il est possible de cartographier les endroits où la TS mesurée ne correspond pas à ce qui est attendu en fonction du NDVI relevé [BOVAY 2020]. Sur cette base, nous définissons les TS théoriques attendues en fonction du NDVI et ce, en se basant sur la droite de régression linéaire issue de la corrélation susmentionnée. Une fois les TS théoriques calculées, il convient de les soustraire aux TS mesurées. Ceci permet d'obtenir la différence de température entre les valeurs de TS mesurées et les valeurs théoriques [voir 7] [BOVAY 2020].

ciel ouvert, comme celui de la Louve, du Flon, de la Vuachère ou encore du Chandelar. Cette matrice hydrographique favorise sans doute des températures plus fraîches le long de structures majeures. Ce constat est conforté par une série d'échantillons de coupes topographiques croisant TS et couverture végétale [ill. 5]. Sécantes au territoire, elles permettent de supporter la destination des types d'espaces parcourus: les cours d'eau à ciel ouvert qui les pénètrent rencontrent des milieux où les températures les plus élevées du territoire sont absentes et où la couverture végétale y est présente, *a contrario* des cours d'eau souterrains.

L'analyse descriptive croisée entre couverture végétale et ICU montre que les températures les moins élevées se situent dans des emprises au sol où la végétation est la plus développée et inversement. Les espaces constitués par une couverture végétale importante ou très importante se profilent comme des ressources territoriales de lieux de fraîcheur. Cependant, l'observation de nos outils d'analyses cartographiques permet aussi de constater que cette tendance générale n'est pas uniforme sur le territoire lausannois: l'analyse croisant les NDVI «élevés» et «très élevés» avec les classes de températures «élevée», «très élevée» et «extrêmement élevée» [ill. 4] montre bien que certains sites du territoire – bien que végétalisés – sont soumis à des températures élevées et ne sont donc pas en capacité de constituer des îlots de fraîcheur. Il s'agit notamment du parc de Mon Repos, de l'esplanade de Montbenon ou encore des parcs identifiés précédemment comme étant uniquement en partie des îlots de fraîcheur. Pour poursuivre la réflexion et mieux comprendre la relation entre TS et couverture végétale, il est intéressant de compléter cette première approche descriptive par une approche statistique².



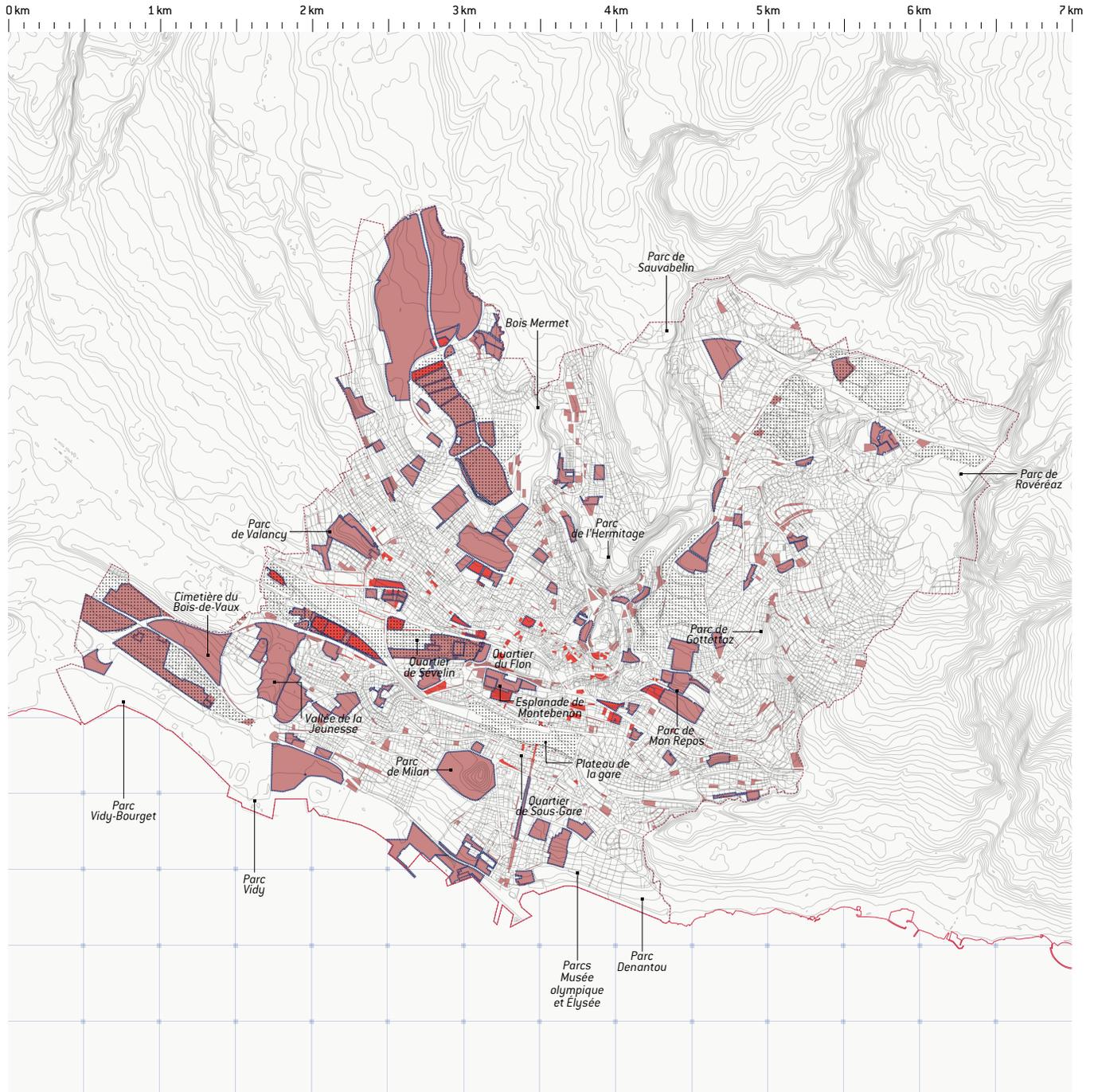
7 Différence de température entre les valeurs de températures au sol [TS] mesurées et les valeurs théoriques [actéon | OUVDD 2022].



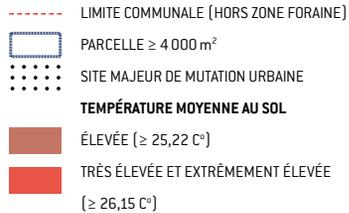
En observant les résultats, nous constatons que les TS théoriques supérieures à 0,5°C aux TS mesurées correspondent principalement aux rives du lac, aux espaces végétalisés ou arborés d'une certaine ampleur (Bois de Sauvabelin, Campagne de Roveréaz à l'Est), aux points d'eau (lac de Sauvabelin) et enfin aux toits des bâtiments blancs (albédo élevé). Ce constat qui met en avant des espaces plus frais que ce qu'ils devraient être au vu de leur NDVI existe et démontre que d'autres facteurs entrent dans la danse pour le rafraîchissement de la ville: l'eau du lac, l'occupation du sol et l'épaisseur stratifiée des espaces végétalisés de type forêt, les matériaux et les couleurs surfaciques des bâtiments.

En analysant les TS théoriques inférieures à 0,5°C par rapport aux valeurs mesurées, nous constatons qu'elles se situent principalement dans les secteurs

← 6 Corrélation entre des températures au sol [TS] et de la couverture végétale [NDVI] [actéon | OUVDD 2022].



← 8 Répartition des températures au sol [TS] au regard de la domanialité [actéon | OUVDD 2022].



densément bâtis, avec de fortes concentrations autour de la gare de Lausanne et du chemin de fer, du tissu historique sous la Riponne, ou encore au niveau de l'aéroport de la Blécherette. Tout porte à croire que pour ces espaces plus chauds que ce qu'ils devraient être compte tenu de leur NDVI, des facteurs autres que la végétation viennent une fois de plus influencer les TS mais dans ce cas précis, non pas pour les diminuer mais pour les augmenter. Ainsi, la végétation a une capacité limitée de rafraîchissement dans les milieux urbains susmentionnés. Pour souligner ces propos, l'exemple de l'esplanade de Montbenon est intéressant: ce site enregistre une température trop haute par rapport à sa couverture végétale, alors que la végétation est un élément particulièrement présent sur cet espace. Des hypothèses peuvent être avancées pour tenter d'expliquer ce résultat: nous pouvons par exemple penser à sa position géographique qui l'inscrit à proximité d'espaces aux TS élevées et très élevées, à sa structure qui la place sur une dalle, à une morphologie urbaine générant une aération insuffisante ou encore aux essences végétales possédant des capacités d'évapotranspiration ou encore d'ombrage non-optimales. Le cas de la place de la Riponne est aussi un exemple pertinent: alors que cette place est largement minéralisée, il serait attendu que sa TS mesurée soit supérieure à sa TS théorique, à l'image de la place de la gare qui comporte les mêmes caractéristiques de couverture minérale. Pourtant, ce résultat escompté n'est pas ici constaté. Il démontre encore une fois que la végétation ne peut pas tout expliquer et que d'autres éléments explicatifs entrent en jeu. Dans cet exemple, la proximité de la place avec la mégastructure fraîche constituée par le parc de Sauvabelin et son rôle de climatiseur peut être considérée comme une piste sérieuse pour expliquer le phénomène, tout comme la qualité des ombres portées des bâtiments alentour.

En somme, même si la présence de végétation ne peut pas expliquer à elle seule les TS, nous constatons qu'il existe tout de même une relation que l'on observe à la fois dans une approche descriptive, mais aussi statistique avec une corrélation négative. Dès lors, l'adaptation au changement climatique appelle à des actions permettant la création d'espaces végétalisés certes, mais dans une réflexion globale intégrant également d'autres facteurs connus tels que la plantation en pleine terre, la composition des strates et la maturité du paysage, le choix des matériaux adéquats et des revêtements surfaciques ou encore la diversification des espaces en eau.

Évoquer les pistes d'action possibles, c'est aussi l'occasion de révéler les lieux d'opportunité dont dispose la Ville de Lausanne sur la base de sa maîtrise foncière. En opérant un croisement entre la localisation de ces parcelles et les classes de températures élevées, très élevées et extrêmement élevées (en réalisant la moyenne par parcelle), on remarque que la ville possède une part importante des emprises de

parcelles communales à l'échelle du territoire qu'elle pourrait faire muter radicalement pour opérer un changement. Un autre niveau de lecture se lit également au moyen de la carte de la répartition des TS au regard de la domanialité: les vastes emprises sont situées en partie sur des sites majeurs de mutation stratégiques définis par le Plan Directeur communal [VILLE DE LAUSANNE 2020]. Deux logiques peuvent être ainsi développées par la ville: une première, basée sur la valorisation de microlieux d'intervention stratégiques en vue de la mise en place d'une future trame fraîche à l'échelle de la ville; une deuxième, basée sur la requalification de grands tènements bâtis et non bâtis, de plus de 4 000 m², principalement occupés par des sites majeurs de mutations urbaines [ill. 8].

PORTÉE MÉTHODOLOGIQUE

En guise de discussion méthodologique, il convient de mettre en perspective nos résultats en revenant sur les données utilisées, à savoir celles provenant de Landsat 8 et fournies par la Ville de Lausanne. Ces données accessibles ont été prises hors période caniculaire au sens de MétéoSuisse et en matinée (10-11 h). Il s'agit d'une limite à cette étude qui peut réduire les écarts de températures au sol observés. Par ailleurs, les ICU ont été définis sur la base de l'écart à la moyenne cantonale, mais notons que d'autres méthodes existent pour les définir. Aussi, la variabilité territoriale du canton étant forte (par exemple entre Glacier 3 000 et Lausanne qui se situe entre 370 et 940 m), la définition des ICU aurait pu être davantage signifiante si la comparaison avait été réalisée avec le territoire avoisinant Lausanne. Il n'est pas inutile de rappeler ici que la résolution de ces données utilisées du Landsat 8 s'élève à 30 m. Cette résolution est certes intéressante pour analyser l'ensemble d'un territoire ou d'une ville et d'en donner une image globale, mais nous limite pour comprendre des microphénomènes thermiques. Une meilleure résolution permettrait, en partie tout du moins, de mieux saisir la raison de certaines observations où les TS n'arrivent pas être expliquées par la couverture végétale, comme l'esplanade de Montbenon et la place de la Riponne. Aussi, cette résolution de 30 mètres n'est pas optimale pour détecter toutes les formes végétales urbaines, celles-ci occupant souvent des surfaces en-deçà d'une superficie de 30 x 30 m. Ceci a pu s'observer avec d'autres données mobilisées dans l'étude comportant un degré de finesse plus important: il s'agit de la canopée (résolution de 1 m) fournie dans le cadre de l'IFN suisse de 2019. En nous renseignant notamment sur des structures végétales fines, cette donnée montre qu'il conviendrait de mener une étude sur des morphologies environnementales plus précises.

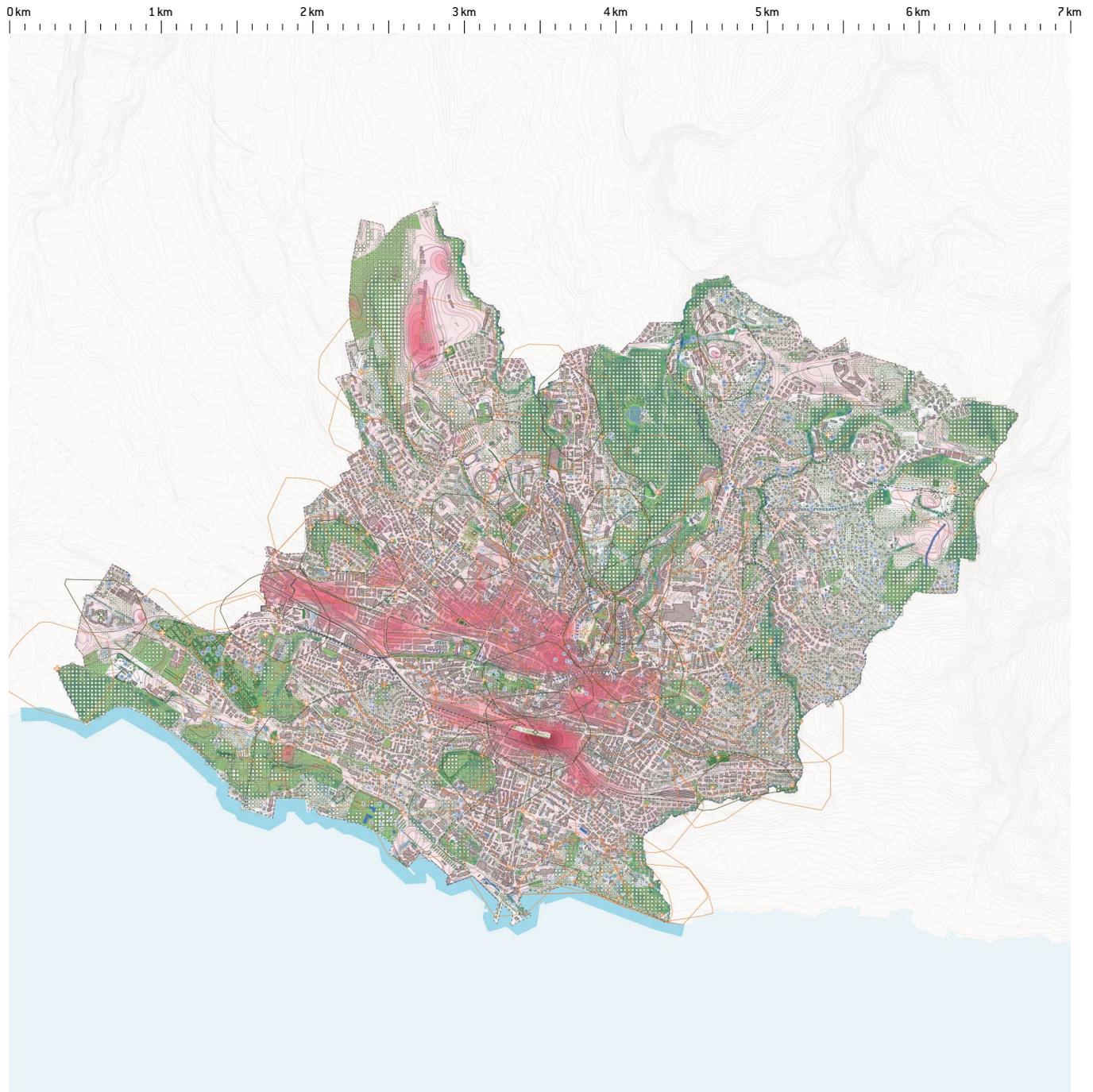
PORTRAIT BIOCLIMATIQUE DES QUARTIERS LAUSANNOIS

La démarche méthodologique présentée jusqu'ici a permis, d'une part, de mesurer la répartition spatiale tendancielle des ICU et de la couverture végétale au regard du NDVI. D'autre part, elle a permis de comprendre l'apport et les limites de cette dernière au regard de la lutte contre les ICU et la création d'îlots de fraîcheur: la couverture végétale n'est pas le seul facteur de rafraîchissement et, dans certains secteurs, elle n'explique pas à elle seule les TS enregistrées. D'autres paramètres entrent en jeu.

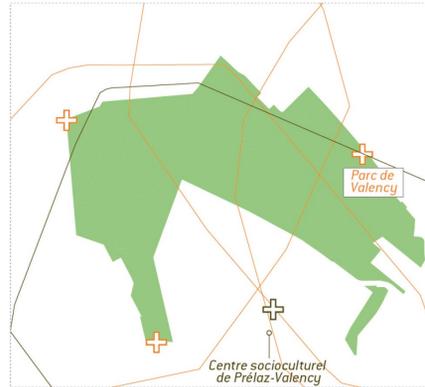
Pour comprendre plus finement les particularismes des îlots de fraîcheur et de chaleur qui composent la matière des tissus lausannois, déceler les quartiers les plus vulnérables et émettre des hypothèses sur les phénomènes explicatifs qui en seraient la cause, nous procédons à un repérage des caractéristiques bioclimatiques des quartiers en intégrant les données déjà utilisées dans la partie précédente du chapitre et en y agrégeant de nouvelles. Dès lors, chaque entité prise de manière singulière puis considérée de manière croisée comporte les éléments suivants:

- les TS, déjà utilisées et décrites ci-avant [USGS 2017],
- le NDVI représentant la couverture végétale, déjà utilisé et décrit ci-avant [USGS 2017],
- la canopée, déjà utilisée et décrite ci-avant et considérée comme les surfaces végétalisées égales ou supérieures à 6 m [OFEV 2019],
- les statistiques de superficie à l'hectare pour les espaces verts et lieux de détente, des forêts, des aires de bâtiments et des surfaces de transports [OFS 2017],
- les arbres isolés considérés comme importants [VILLE DE LAUSANNE 2021A],
- les emprises et la longueur des rivières à ciel ouvert et souterraines [OFT 2022A],
- l'emprise des bâtiments, leurs formes urbaines et leur distribution spatiale [VILLE DE LAUSANNE 2021A],
- la localisation des lieux de fraîcheur bâtis accessibles au public: musées, maisons de quartier et autres équipements publics répertoriés sur la base de nos connaissances, analyse de terrain et échanges avec le Service de l'urbanisme de la Ville de Lausanne,
- la répartition des espaces en eau et des espaces végétalisés accessibles au public: fontaines, plan d'eau et leurs abords, lieux de baignade, jets d'eau, parcs et jardins publics [VILLE DE LAUSANNE 2021A],
- les isochrones d'accessibilité aux espaces végétalisés accessibles au public à moins de 5 minutes à pied [OFT 2022A; OFT 2022B].

Certaines de ces données appellent à être précisées pour le déroulement de l'analyse qui suit. Concernant les TS, notons que les classes de températures (moyenne/basse, élevée, très élevée et extrêmement élevée) définies dans l'analyse à l'échelle



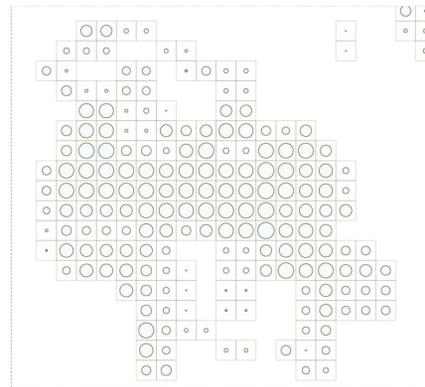
← 9 Analyse bioclimatique de Lausanne: agrégation des quartiers [actéon | OUVDD 2022].



ACCESSIBILITÉ ≤ 5MN À PIED D'UN ESPACE VÉGÉTALISÉ ET LIEU FRAIS BÂTI



CANOPÉE (HAUTEUR DE VÉGÉTATION)



COUVERTURE VÉGÉTALE (NDVI)



TEMPÉRATURE AU SOL

10 Exemple d'une matrice d'analyse thématique de quelques données pour un échantillon du territoire lausannois [actéon | OUVDD 2022].

de Lausanne sont conservées. Elles nous donnent le poids de mesure des ICU. Nous considérons donc qu'il y a présence d'ICU lorsque les TS sont très élevées ou extrêmement élevées.

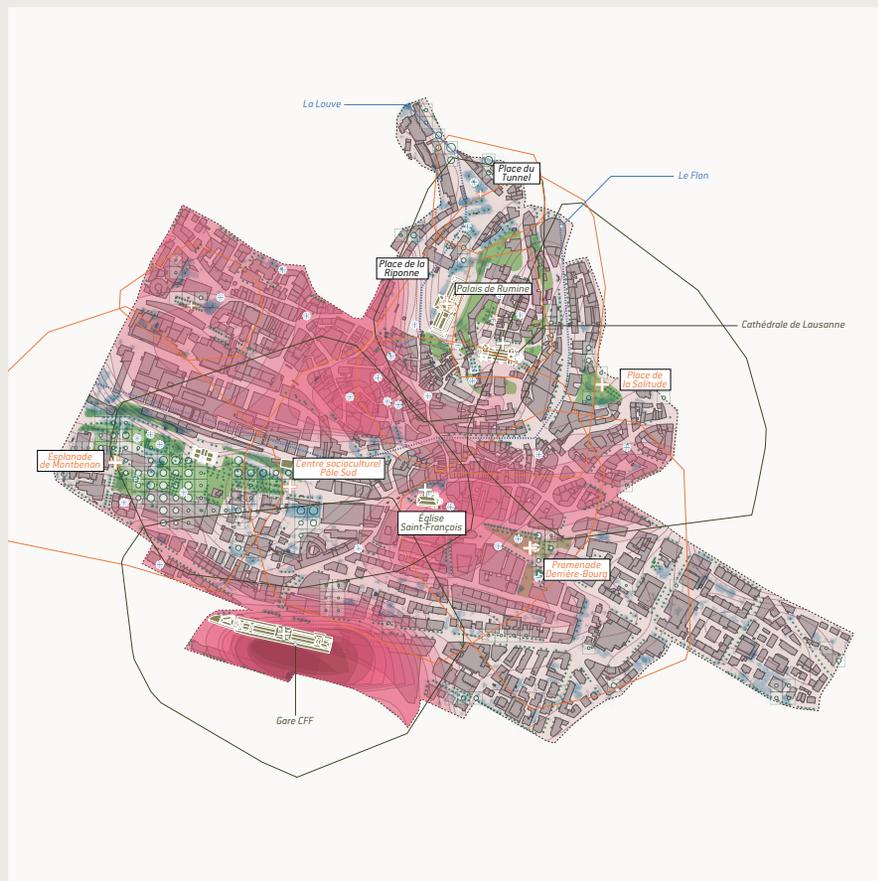
A contrario, concernant les îlots de fraîcheur, le changement d'échelle par quartier et la visée qu'induit l'analyse de ce type de nomenclature permet de dépasser et de préciser la définition. Ainsi, si nous assimilons un îlot de fraîcheur uniquement au regard de sa classe de TS moyenne ou basse afin de comprendre leur lien avec le NDVI [à l'image de la partie 1], l'échelle du quartier permet une lecture plus fine. Dès lors, un îlot de fraîcheur n'est plus uniquement une classe statistique définie; elle associe son pendant sensitif et sensoriel en reflétant ce que peut ressentir un.e habitant.e parcourant la ville. Nous considérons donc un îlot de fraîcheur comme un espace dont

les températures sont plus basses et ce, relativement à son environnement proche. Revenons aussi sur la couverture végétale représentée avec le NDVI et sur les statistiques de superficie, plus précisément sur celles concernant les espaces verts et lieux de détente ainsi que celles des forêts. Alors que leurs thématiques sont proches, notons que parfois leurs résultats peuvent quelque peu diverger. Pour comprendre cela, plusieurs facteurs sont à considérer. Dans un premier temps, rappelons que la couverture végétale telle que définie avec le NDVI prend en compte l'intensité et la vitalité de la végétation. Dès lors, un espace considéré comme végétalisé au sens des statistiques de superficie ne comporte pas systématiquement une végétation suffisamment intense pour être considéré comme végétalisé selon le NDVI. Ceci est en particulier relevant en période estivale, période à laquelle les mesures du NDVI ont été relevées et durant laquelle la végétation peut souffrir des fortes chaleurs. Deuxièmement, les statistiques de superficie regroupent les espaces verts et les lieux de détente dans une seule catégorie, mais un lieu de détente n'est pas par définition végétalisé et donc ne sera pas révélé par le NDVI. Troisièmement, notons la différence de précision entre les deux données: l'une a une résolution de 30 m [NDVI] et l'autre de 100 m [statistiques de superficie]. Enfin, concernant les isochrones, ils ont été calculés en considérant d'une part le chemin que les piétons peuvent emprunter et la vitesse de marche relative au dénivelé.

La figure 10 détaille les données listées ci-avant pour un échantillon du territoire Lausannois.



Parc de la Sallaz.



QUARTIER DU CENTRE NOMENCLATURE 1

Empreint d'une topographie dessinée par des vallons, des pentes et des cours d'eau souterrains, le quartier du Centre est caractérisé par trois collines, figures emblématiques de l'image de la Ville de Lausanne: celle de la Cité, marquée par une côte altimétrique de 525 m et que la cathédrale surplombe, la colline du Bourg et la colline de Saint Laurent. Cette structure géographique forte marquée de plats, de replats et de points culminants est constitutive du quartier du Centre et offre des points de vue remarquables

sur le grand paysage. Échappées et balcons panoramiques depuis l'esplanade de la Cathédrale, le pont Bessières, les escaliers du marché, l'esplanade du Château, la passerelle du Flon ou encore l'esplanade de Montbenon offrent une mise en scène à chaque fois inédite sur la chaîne des Alpes et celle du Jura.

Cette topographie si particulière a été incisée par deux cours d'eau – La Louve et le Flon – historiquement présents dans ce secteur, qui se réunissent en côte altimétrique basse pour donner le nom du Flon au secteur des anciennes friches industrielles requalifiées en contrebas de l'esplanade de Montbenon. Ces deux rivières

s'écoulent de manière gravitaire sur 2 340 mètres linéaires dans des ouvrages souterrains [OFT 2022A] – soit le plus important métrage linéaire par rapport aux autres quartiers – et sont une ressource indéniable pour contribuer à rafraîchir le tissu lausannois dans une perspective d'adaptation au changement climatique. L'enjeu majeur consistera à terme à exhausser l'eau pour remettre à ciel ouvert dans des secteurs possibles ces rivières invisibles, aujourd'hui sectionnés par des ouvrages infrastructuraux majeurs. Cette remise à ciel ouvert de l'eau pourrait être réalisée par résurgences sous forme de points d'eau (fontaines, plans d'eau, bassins) ou bien sous forme gravitaire par des segments de linéaires d'eau en accompagnement de certains tracés. D'autres dispositifs existent et peuvent être mobilisés dans cette mise en valeur de l'eau dans l'espace public [voir chapitre 7].

Au-delà de la forte qualification des vues sur le paysage et de l'eau qui épouse ses creux, cette topographie supporte une organisation typomorphologique des unités bâties suspendues sur ces collines, puis des dynamiques Est-Ouest qui en découlent. Dans ce quartier, on trouve notamment le quartier historique de l'ancienne centralité médiévale niché sur la première colline de la Cité, à partir duquel se structure le développement des quartiers lausannois qui se succèdent. Le tissu médiéval autour de l'église Saint Laurent présente des morphologies de rues et ruelles étroites et tortueuses dont le dessin a laissé une grammaire au sol presque exclusivement minérale: plus de 90% de la surface du quartier est occupée par des aires bâties et des infrastructures de transports [OFS 2017]; les espaces publics étant principalement constitués par des pavés et des surfaces asphaltées. L'ensemble de ces espaces très compacts créé des secteurs vulnérables aux pics de chaleur: les ICU se répartissent sur plus de 50% du quartier. C'est aussi dans ce quartier au positionnement central, qu'on enregistre les plus hautes TS communales avec le pôle de la gare atteignant un maximal de 27,4°C; aujourd'hui renforcé par le pôle musée Cantonal des Beaux-Arts récemment livré dont les espaces



publics sont presque exclusivement minéralisés. Compte tenu du fait que le quartier du Centre ne dispose d'aucun espace où les TS sont considérées comme basses ou moyennes, il s'agit de l'un des quartiers les plus vulnérables au regard des vagues de chaleurs.

Cette haute vulnérabilité est renforcée par la faible couverture végétale qui représente seulement 8% de la surface du quartier; quartier dont la couverture végétale est la plus pauvre à l'échelle de la ville [USGS 2017]. Il en va de même pour la surface de canopée, l'une des plus basses de Lausanne avec moins de 10% d'occupation rapportée à la surface du quartier. Par ailleurs, les arbres d'alignement de rue sont quasi absents, même si 1 280 sujets d'arbres isolés d'importance sont répertoriés dans ce quartier [VILLE DE LAUSANNE 2021A].

Leur présence est visible sur des tronçons de mails structurants d'axes viaires hérités de la période des grands travaux de l'ingénieur Adrien Pichard (chantiers de 1836 à 1861). De ces grands travaux d'ingénierie produisant des axes viaires circulables sur 44% d'occupation du sol du quartier [OFS 2017], de grandes fosses de plantation ont été créées avec des sujets qui atteignent aujourd'hui 15 à 20 mètres de haut [OFEV 2019]. Ils accompagnent les voies circulées et offrent des parcours frais pour les passants. Ce sont



autant de dispositifs plantés qu'il conviendra de renforcer dans le cadre de requalification d'axes viaires pour initier des prolongements entre ces tronçons sectionnés.

Notons tout de même que sur des emprises faites de plats et de replats, mais aussi des micros pentages de versants et de coteaux, le quartier bénéficie de micro-îlots de fraîcheur. Trois typologies en sont caractéristiques:

- places, parcs et squares [le parc de Montbenon, la Promenade Derrière-Bourg, place de la Madeleine],
- les micropoches végétalisées sur les domanialités publiques (balcons suspendus sur la place de la Riponne et en accroche de la Cathédrale, espaces plantés sur la place du Tunnel),
- les pentes et les coteaux boisés des collines [Promenade de la Solitude].

Les deux secteurs représentés par la Promenade de la Solitude et le parc de Montbenon bénéficient de surfaces ombragées généreuses ainsi que des surfaces en pleine terre. Certains sujets végétalisés atteignant une hauteur comprise entre 20 à 30 mètres [OFEV 2019] témoignent d'une installation centenaire. Ces deux secteurs constituent deux îlots de fraîcheur dans le sens où leurs TS, bien qu'élevées, sont légèrement en deçà de celles enregistrées dans les secteurs limitrophes. Qui plus est, ils ont l'avantage d'être des refuges



climatiques accessibles pour les riverain•e•s à moins de 5 minutes à pied sur les parties Nord/Nord-Est, Sud/Sud-Est et Sud/Sud-Ouest du quartier et représentent majoritairement les 5 à 6% d'espaces verts et de détente présents sur le territoire [OFS 2017]. Notons aussi que des bâtiments publics jouent un rôle de relais ponctuel de fraîcheur grâce à leur structure fraîche à l'intérieur de leur enveloppe bâtie: la halle de la gare des CFF, la cathédrale, l'église Saint François et le Palais de la Rumine ou encore Montbenon incarnent ces refuges climatiques en cas de vagues de chaleur. Parmi ces points de fraîcheur, quelques fontaines viennent installer çà et là dans ce quartier de l'hypercentre des ponctuations plus fraîches dans l'espace public.

Ponctuation de microrelais de fraîcheur par l'arborisation des rues d'alignement dans une deuxième couronne du quartier, des places par des plantations d'arbres majeurs et des installations de grands sujets solitaires dans les tissus plus médiévaux ou sur des places, reconquête d'espaces publics presque exclusivement minéraux récemment livrés et attention portée en direction de la reconquête de hots spots de chaleur (place de la gare en cours de requalification) constituent des leviers pour accompagner l'habitabilité de ce quartier du centre face aux vagues de chaleur.



QUARTIER BEAULIEU-GREY-BOISY NOMENCLATURE 17

Situé au Nord-Ouest du centre-ville de Lausanne, Beaulieu-Grey-Boisy représente l'un des derniers maillons de l'extension de la forme urbaine de la ville. Le quartier est constitué par des ensembles bâtis qui s'inscrivent en ruban dans les horizons topographiques Nord/Nord-Ouest et Sud-Ouest du site et affirment les limites de la composition urbaine de la ville dans sa partie Nord. Jouxant la commune de Prilly (à l'Ouest) et, coupé en deux par l'axe viaire de l'Avenue du Grey, ce secteur à dominante résidentielle offre un paysage majori-

tairement composé par des grands ensembles qui traduisent l'extension de ce secteur entre 1960 et 2000. L'implantation du bâti laisse la part belle à de vastes dégagements d'espaces publics et semi-privatifs constitués par des espaces en pelouse, des bosquets et des cordons boisés. Particularité du quartier, le fort dénivelé entre le point haut Nord/Nord-Ouest et le point bas Sud-Ouest. L'association du fort pendage à la structure de la voirie principale de desserte participe à dessiner une structure par marches d'escalier. Sur ces marches s'adossent dans la partie nord du quartier deux voiries principales de desserte qui tiennent lieu de particularité: bidirectionnelles

et en cul-de-sac, elles viennent s'inscrire dans les horizons topographiques du site. Ces deux voiries – chemin de Boisy et Chemin Guillaume de Pierre-fleur – offrent une structure physique linéaire à laquelle vient s'accrocher le plan de composition des ensembles bâtis en peigne. De la deuxième, un principe d'aménagement paysager composé de segments d'arbres d'alignement dessine les prémices d'une trame d'arbres d'alignement à la rue.

Dans la partie sud/sud-est du quartier, le plan de composition des espaces bâtis possède un mince tissu résidentiel composé de maisons individuelles qui dialoguent avec des espaces jardinés privés.

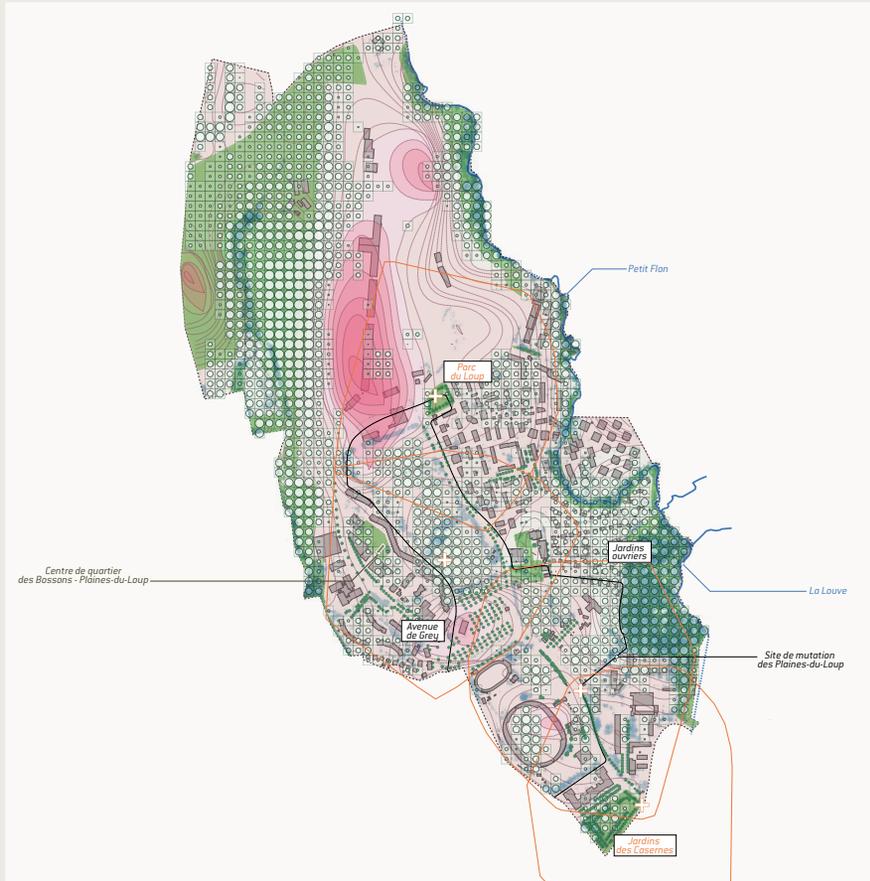
Enfin, disposées en peigne, des unités d'habitation de type barres structurent la partie sud du quartier avec des équipements publics (centre sportif, supermarché et enseignes commerciales). De cette composition urbaine résulte 63% d'aire d'implantation occupée par des bâtiments, 21% par des infrastructures de transports et 10% par des espaces verts de détente [OFS 2017]. Le quartier est peu sujet à des ICU [USGS 2017] grâce aux structures fraîches qui composent le quartier.

Le parc du Désert au sein duquel se trouve la «Maison du Désert», maison de maîtres² hébergeant actuellement la maison de quartier, d'un parc comprenant un canal, d'un jardin clos ainsi que d'un bâtiment rural représentent des lieux frais, peu soumis aux ICU. Ces entités représentent un véritable îlot de fraîcheur (les TS y sont moyennes/basses) [USGS 2017] pour les riverain•e•s dans cette partie nord-est du quartier. Autre hotspot de fraîcheur public couvrant un large périmètre accessible à moins de 5 minutes à pieds de la partie sud-est du quartier: le théâtre de Beaulieu, véritable équipement public métropolitain accueillant une scène active riche en programmations. Notons que le cordon boisé qui vient également inscrire les limites du quartier dans sa partie ouest avec la commune de Prilly, participe au rafraîchissement du secteur ouest. L'ensemble de ces éléments végétalisés s'ajoute aux 233 arbres isolés d'importance répertoriés

par la Ville de Lausanne [VILLE DE LAUSANNE 2021A], à la couverture de canopée de 23% [OFEV 2019] et à la couverture végétale de plus de 50% [USGS 2017] qu'enregistre le quartier. Bien que ce quartier soit moins vulnérable aux ICU, il conviendrait de le préparer aux vagues de chaleur à venir. À l'exception de la rue Pierrefleur et de l'avenue des Bergières, les rues – dont les gabarits d'emprise au sol sont assez généreux – offrent un cadre optimal de préparation d'avenir en faveur de plantations. Dans le cadre de requalification de voiries existantes, ces rues pourraient supporter des sujets plantés généreux dans une ambiance de parc débordant sur l'espace rue avec des arbres de grands développements, des strates végétalisées diversifiées; le tout pour accompagner des parcours frais des riverain•e•s.



² L'ensemble constitue des entités du patrimoine lausannois qui datent de la fin du 18^e siècle. Acquis par la ville en 1989, le parc et la Maison sont respectivement notés en classe *1* et *2*^o, soit d'intérêt national et régional, au recensement architectural du canton de Vaud.



QUARTIER BOSSONS-BLÉCHERETTE

NOMENCLATURE 16

Situé au nord-ouest de la commune de Lausanne, le quartier de Bossons-Blécherette est traversé par la Louve. Son écoulement sillonne sur plus de 2,5 km linéaires avant de s'enfourer sur environ 495 mètres linéaires [OFT 2022A] et offre une limite de quartier avec Borde-Bellevaux et une limite administrative avec la commune du Mont-sur-Lausanne. Espace charnière marqué par de forts enjeux de développement urbain, le périmètre du quartier s'inscrit dans la topographie de la ville sur le plateau de la Blécherette en situation de balcon

sur le lac. Il s'ouvre sur le grand paysage avec les Alpes et le Jura en toile de fond. Le site occupe une situation dominante; il est délimité par les falaises de molasse des Grandes-Roches au Sud-Ouest et par le vallon de la Louve au Nord-Est. Actuellement de faible densité, le quartier est amené à muter radicalement sur une superficie de 38,4 hectares. Il est appelé à accueillir une partie du projet lausannois de Métamorphose avec l'écoquartier des Plaines-du-Loup (dont une partie est en cours de réalisation) ainsi que le nouvel axe fort (métro m^3) et des infrastructures sportives d'importance cantonale et régionale dont celui déjà livré de La Tuilière (stade, centre

de football). La construction du nouveau quartier devrait tisser des liens entre les deux parties est et ouest du quartier et offrir des espaces de vie en commun ainsi que des nouvelles programmations mixtes et diversifiées. La proposition de nouvelles mailles de distribution, de places ou de parcs, la hiérarchie des axes et la prise en compte de la diversité modale devraient apporter des réponses à la question de la structure générale du quartier pour tisser des liens.

Le Plan directeur localisé (PDL) des Plaines-du-Loup se déclinera à terme en quatre Plans partiels d'affectation (PPA) permettant d'échelonner les étapes de réalisation du projet urbain. La réalisation de la première phase du projet a débuté en 2017. Il comprend toute la partie nord dont un parc. Dans la réalisation de ce PPA 1 de l'écoquartier des Plaines-du-Loup (équivalent d'une première tranche de projet urbain), le nouveau parc livré se développe sur une superficie de 1,7 hectare.

Sur cette large emprise amenée à muter et sur l'ensemble du quartier, s'observent des TS très élevées (14%): l'aéroport de la Blécherette ainsi que le parking au Sud de l'opération des Plaines-du-Loup [USGS 2017] constituent de vrais ICU. Malgré ce constat, des prémices d'îlots de fraîcheur sont perceptibles à l'image du parc du Loup³ ou encore des jardins des casernes présents plus au Sud du quartier.

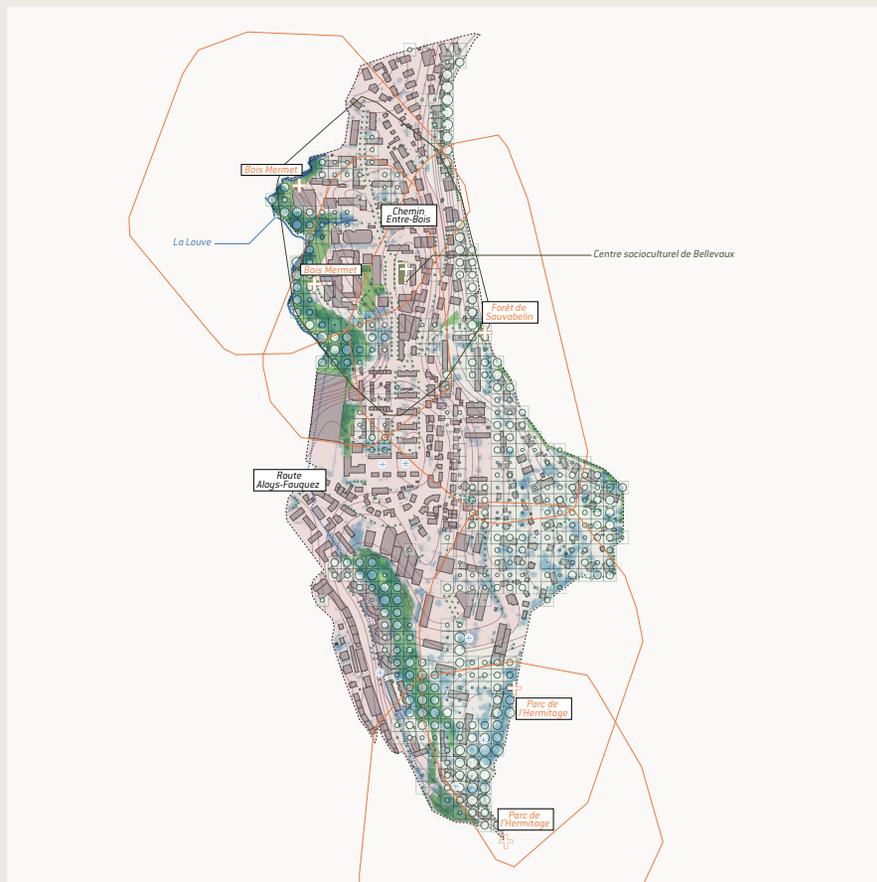
Notons que Bossons-Blécherette est caractérisé par des cordons boisés frais à l'image de celui en contrebas de la partie est du quartier (avec des TS basses à moyennes), ouvrant sur l'embouchure de l'entrée du Bois Mermet, et de celui traversant les espaces agricoles de la Blécherette [USGS 2017]. Les jardins ouvriers situés le long du chemin du Marronnier constituent eux aussi un isolat frais, tout comme les espaces autour de l'avenue du Grey véritable allée fraîche [LANDSAT 8 2017]. Enfin, le secteur d'habitation au Nord de la prison est également un secteur plus frais grâce à sa proximité au Bois-Mermet et à sa couverture végétale [USGS 2017]. En somme, ces espaces végétalisés, qui contribuent aux 18% de la superficie du quartier comportant

des espaces verts et de détente [OFS 2017] et aux 13% de canopée [OFEV 2019], sont autant de petits isolats refuges capables de générer des microclieux frais en cas de vagues de chaleur.

La pointe sud de l'opération des Plaines du Loup en pleine mutation (plan partiel d'affectation 3 et 4 en cours), soumise aux TS très élevées, pourrait supporter des mails de plantation Est Ouest généreusement plantés pour assurer des enjeux de connectivité pour la biodiversité ainsi que des parcours frais et itinéraires de rabattement en direction de Sauvabelin, véritable hot spot de fraîcheur. Les axes majeurs Nord Sud des voiries circulées de ce quartier pourraient eux aussi supporter des continuités paysagères massivement plantées.



³ Lors du relevé Landsat, des terrains de sport engazonnés étaient présents, aujourd'hui remplacés par un parc, nous faisons l'hypothèse qu'il est encore aujourd'hui un espace plus frais au regard des températures limitrophes.



QUARTIER BORDE-BELLEVAUX

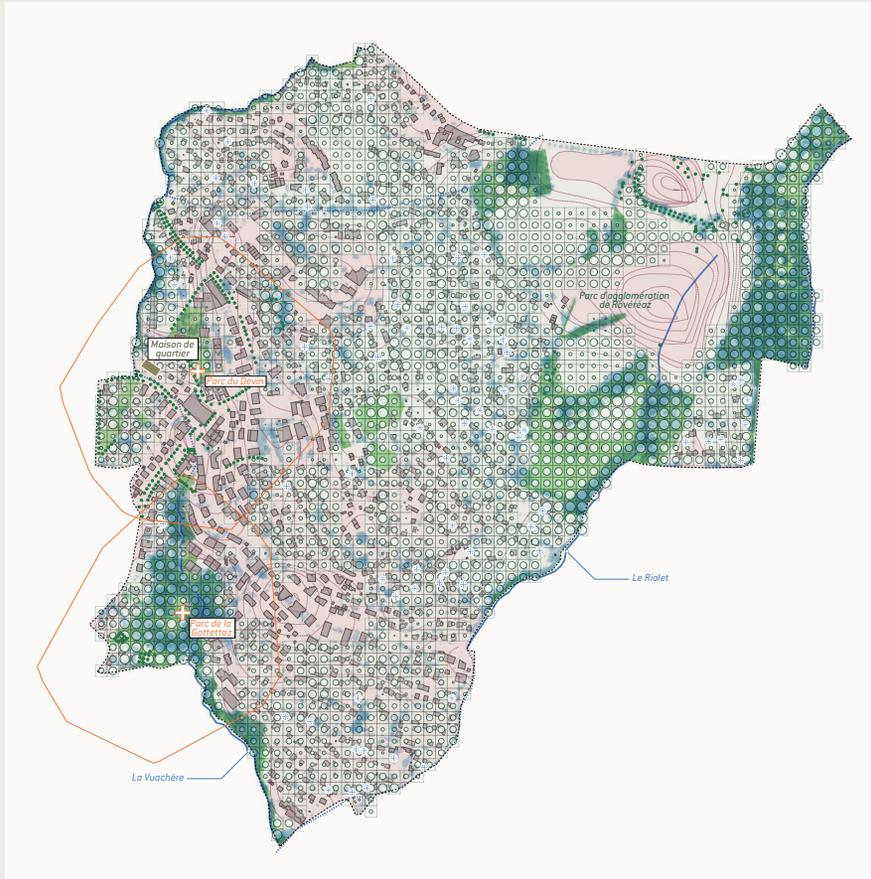
NOMENCLATURE 14

Le quartier est encaissé entre la Louve et le parc de Sauvabelin. La Louve, bras du petit Flon dans sa partie amont, coule à ciel ouvert sur la partie nord-nord/ouest du quartier sur environ 765 mètres linéaire avant de s'enfouir sur plus de 1 000 mètres linéaires [OFT 2022A]. Offrant dans ce quartier le spectacle du dernier tronçon à ciel ouvert de l'écoulement des eaux gravitaires, elle ne réapparaîtra pas avant son affluence avec le Léman. Perpendiculairement aux rives du lac, cette rivière y a incisé un sillon et constitue

une rupture topographique avec le site majeur de mutation urbaine du nouveau quartier des Plaines-du-Loup en cours de requalification dans ses limites Ouest. Cette rivière enfouie offre un potentiel indéniable pour contribuer à rafraîchir le tissu bâti voisin dans une perspective d'adaptation au changement climatique. L'enjeu majeur consistera à terme à la remettre à ciel ouvert dans des sections qui l'autoriseront. Plusieurs portes d'entrée vers des grands parcs sont présentes dans le quartier, à savoir: le bois de Sauvabelin, le parc de l'Hermitage ou encore le bois Mermet, dont le cordon boisé, qui représente la grande majorité de la surface forestière du quar-



tier [11%] [OFS 2017], s'étire du Nord au Sud sur l'affleurement des coteaux entre les quartiers des Bossons-Blécherette et celui de Borde-Bellevaux. Les abords du bois de Sauvabelin constituent d'ailleurs de véritables îlots de fraîcheur pour ce quartier, avec des TS basses/moyennes qui se développent sur environ 40% du territoire [USGS 2017]. L'ensemble de ces morphologies environnementales participent fortement à attribuer au quartier une couverture végétale atteignant 44% de la surface totale [USGS 2017] et une surface de canopée recouvrant près de 22% du quartier [OFEV 2019]. Notons cependant que le bois est interrompu dans sa partie sud par la route Aloys-Fauquez qui dessine une large emprise au sol asphaltée. Enfin, le chemin d'Entre-Bois est planté par deux rangées d'arbres d'alignement. Même si ce dernier est planté, le quartier possède des TS considérées comme élevées sur 59% de sa superficie [USGS 2017] qui s'étendent le long du chemin d'Entre-Bois et dans la partie inférieure du Vallon. Une nappe de parking et des infrastructures scolaires de l'école primaire concourent à ces résultats. À l'Est, le tissu pavillonnaire avec des jardins ouvriers végétalisés est lui aussi soumis à des TS élevées.



QUARTIER CHAILLY-ROVÉREAZ

NOMENCLATURE 11

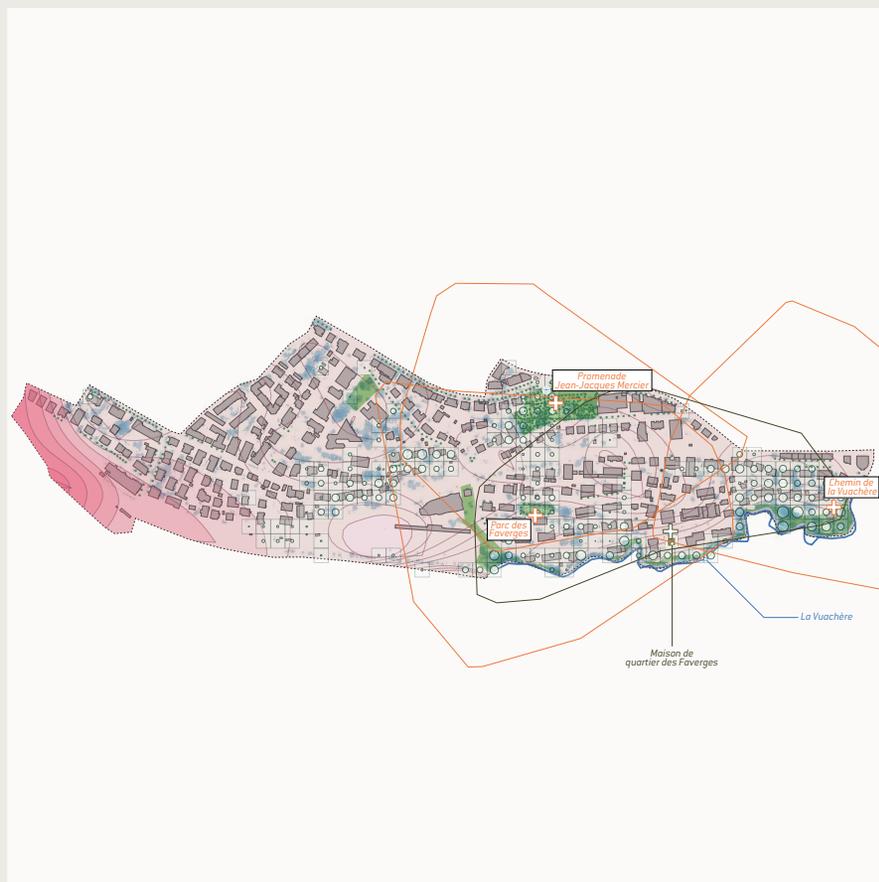
Le quartier de Chailly-Rovéréaz bénéficie de 18% d'espaces boisés comportant forêt et cordons [OFS 2017]. Ce quartier abrite le parc d'agglomération de Rovéréaz. Il constitue un important ensemble végétal au cœur des secteurs urbanisés du nord-est de Lausanne. La Ferme de Rovéréaz exploite un domaine agricole d'une trentaine d'hectares qui offre une multitude de points de vue sur le domaine et ses abords ainsi que sur le grand paysage en surplomb des autres quartiers et du lac. L'activité agricole de la

Rovéréaz sur cette portion de territoire à demie ancrée – entre les boisements qui s'ouvrent en direction du bois du Jorat et des zones villas – a permis le maintien de vastes espaces ouverts et des échappées visuelles. Cette activité façonne l'identité du site par une alternance entre surfaces agricoles et forestières qui abritait historiquement des vergers. Aujourd'hui, l'espace se compose de secteurs dédiés aux grandes cultures, aux vergers et aux potagers tout en abritant un ensemble de bâtiments ruraux, ainsi qu'une maison de maître datant du 19^e siècle. Le quartier est traversé par la rivière de La Vuachère qui s'écoule à ciel ouvert sur près de 3 245 mètres et est enfouie

sur près de 2 km [OFT 2022A]. À l'exception de micros tronçons, elle s'écoule à ciel ouvert sur près de toute sa longueur sur le pourtour de la commune de Lausanne, depuis les hauteurs de Praz-Séchaud jusqu'à son embouchure dans le lac. Cette rivière offre un tracé sinueux, en limite des quartiers qu'elle parcourt dans son lit original sur la plus grande partie de son emprise. Un parcours ludique de sentiers et de passerelles a été aménagé le long de celle-ci baptisé «Sur les traces du Renard» et invite à découvrir le charme inattendu de cette rivière lausannoise et l'écosystème qu'elle abrite en milieu urbain.

Caractéristique typomorphologique de son tissu sans analogue ailleurs en ville avec son «centre de village», le quartier fait partie des quartiers à faible densité avec une part significative de résidences individuelles et de jardins privés. La configuration des axes viaires épouse un principe de composition organique qui joint la topographie; les maisons individuelles avec jardins et piscines privées s'adosant à celle-ci. La localisation du parc de Rovéréaz à proximité immédiate de cette zone villas semble influencer les TS enregistrées dans ce tissu qui sont plus faibles du côté est du quartier. Outre les espaces frais constitués par les jardins privatifs, les cordons boisés et forestiers, le quartier dispose de deux parcs qui se caractérisent par leurs TS basses et moyennes: celui de la Gottettaz et le parc du Devin (en partie).

Ces morphologies environnementales végétales susmentionnées permettent au quartier d'atteindre un indice de canopée de 22% au regard de sa superficie totale [OFEV 2019] et 76% de couverture végétale, ce qui le place comme l'un des quartiers les plus végétalisés. Aucun ICU n'y est décelé, ce qui positionne Chailly parmi les quartiers les plus frais de Lausanne [USGS 2017]. Paradoxalement, dans ce quartier fortement végétalisé, les axes forts et structurants de ce quartier pourraient supporter une trame végétalisée de plantations plus dense (avenue de Chailly, de Béthusy); de même que des débordements de plantations privées dans l'espace rue pourraient être favorisés dans une logique de reconquête de surfaces plus vulnérables aux fortes chaleurs.



QUARTIER FLORIMONT-CHISSIEZ NOMENCLATURE 8

Située à l'Est du pôle gare de Lausanne, la partie est de ce quartier est bordée par la Vuachère qui s'écoule à ciel ouvert sur 1 029 mètres linéaires [OFT 2022A]. Au centre, on trouve une typologie de bâtiments dont des jardins tous orientés en direction du Sud sont plantés avec une présence végétalisée qui participe au 30% de couverture végétale totale du quartier [USGS 2017]. Cette végétalisation faible faisant écho à la quasi-absence de surface végétalisée dédiée à la détente [OFS 2017], permet tout de même

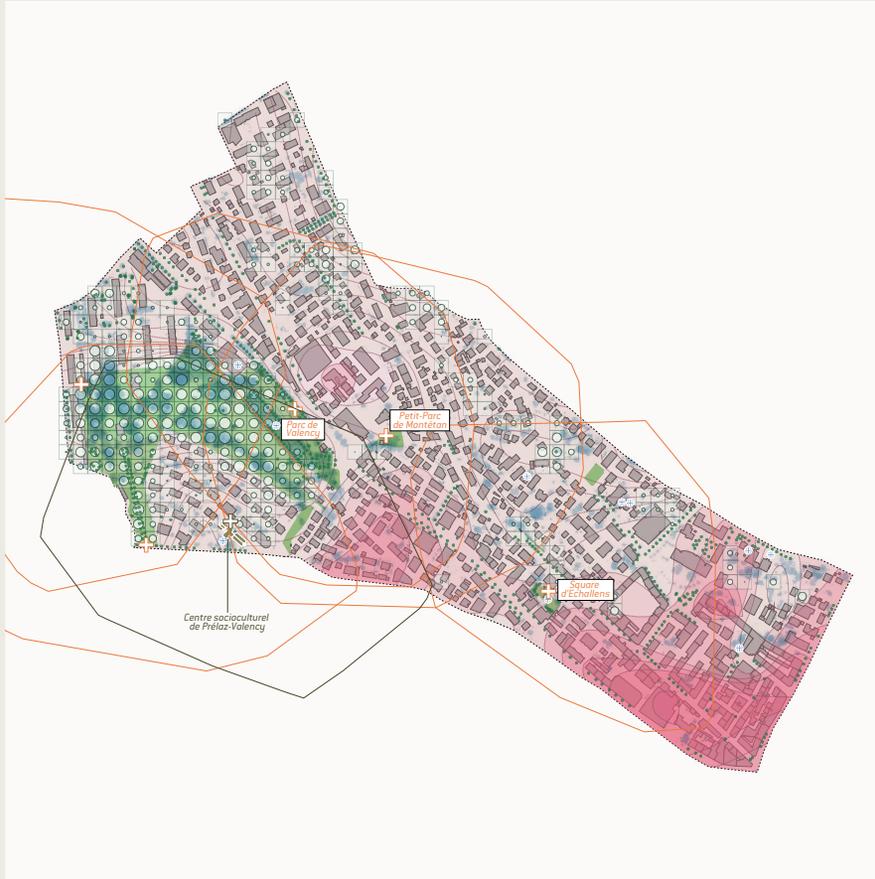
d'observer que certains secteurs sont plus frais que leur environnement proche. Tel est le cas pour le collège de l'Églantine implanté dans un parc; plus à l'Est, un cordon boisé nichant un chemin longeant la Vuachère borde le quartier d'un filament de parcours frais; de même que la promenade Jean Jacques Mercier participe à ce rafraîchissement du secteur est du quartier. Cette promenade revêt un caractère original avec ses nombreux arbres qui constituent en partie les 531 arbres isolés d'importances répertoriés dans le quartier [VILLE DE LAUSANNE 2021A]. En même temps, il s'agit d'un lieu de passage pour les habitant•e•s avec une vue inégale à



Lausanne et une promenade botanique remarquable. Cet *arboretum* public, dans lequel des essences rares et exotiques sont mises en scène, participe au rôle de microclimatiseur du secteur ouest du quartier.

À l'exception de ces éléments plus frais, le quartier est vulnérable aux vagues de chaleurs avec la présence ICU; aucun secteur ne bénéficie de TS moyennes ou basses. Florimont-Chissiez est marqué dans sa partie ouest par un ICU correspondant aux TS très élevées générées par l'emprise des voies de chemin de fer des CFF et du dépôt des trains en contrebas.

Cet espace constitue 16% de la surface du quartier qui est concernée par des ICU (TS très élevées dans ce cas); le reste des surfaces étant soumises à des températures de surface élevées [USGS 2017]. En contre-haut des rails, la typomorphologie des emprises bâties est vulnérable à cet ICU qui déborde dans la structure urbaine. Un travail de plantations ponctuelles d'arbres solitaires associé à la création de séquences plantées en alignement à la rue lorsque le gabarit le permet favoriserait l'habitabilité de ce quartier soumis aux vagues de chaleur.



QUARTIER MAUPAS-VALENCY NOMENCLATURE 2

Le quartier Maupas-Valency est l'un des quartiers les plus sujets aux ICU: presque 30% de son territoire en est composé. À l'intérieur de ces derniers, on observe les tissus caractéristiques du 20^e siècle à l'Est et à l'Ouest dont les cœurs des îlots urbains sont particulièrement minéralisés. Les axes forts et structures majeures de voiries urbaines ne sont pas plantées et génèrent des ICU: l'axe majeur qui accueille actuellement le LEB (ligne de chemin de fer Lausanne Bercher) et qui relie le parc de Valency jusqu'à la place Chauderon

en est l'illustration. Le parc de Valency installe à Maupas-Valency un relais de fraîcheur avec des TS en deçà des températures élevées limitrophes [USGS 2017]. Densément planté, il participe au 11% d'espace accueillant des espaces verts et de détente [OFS 2017], au 26% de l'emprise au sol du quartier occupé par la couverture végétale [USGS 2017] et au 15% de surface du quartier occupée par la canopée. Il concourt à offrir aux utilisateur•rice•s des espaces de détente et de loisir à une échelle de proximité de moins de 5 minutes à pied. Grâce à sa composition paysagère et sa situation unique à demi en promontoire et à demi-pente, le parc de Valency a su tirer parti

de cette situation particulière et offre des points de vue et des dégagements remarquables sur le grand paysage. C'est aussi l'occasion d'aller admirer des arbres bicentenaires qui font partie des 755 arbres isolés importants recensés dans le quartier [VILLE DE LAUSANNE 2021A]. Ce parc de quartier joue un rôle de micro-climatiseur relais en appui de l'équipement de la piscine de quartier et du système de fontaines et de jeux d'eau très apprécié par les riverain•e•s en période estivale.



QUARTIER MONTCHOISI NOMENCLATURE 7

Comptant sur une succession de parcs, le quartier Montchoisi illustre l'un des quartiers les plus frais de Lausanne: il n'est pratiquement pas concerné par des ICU (moins de 5%) [USGS 2017]. Presque la moitié de son territoire enregistre des TS en deçà des classes considérées comme élevées. Ceci peut se comprendre par différents facteurs, à commencer par sa proximité au lac, sa surface de canopée qui le place avec l'un des taux de canopée les plus élevés (plus de 25%) [OFEV 2019] et sa couverture végétale qui couvre presque 60% du

territoire [USGS 2017]. Ces éléments reposent notamment sur ses nombreux parcs: parc de l'Élysée, le parc du Musée olympique, le parc du Denantou ainsi que le parc de Chandieu, qui tous, enregistrent des TS moyennes voir basses et créent ainsi de vrais lieux frais. Montchoisi est bordé par la Vuachère et son cordon boisé dont l'embouchure donne sur les rives du lac et dont la coulée à ciel ouvert s'étend sur 1 100 mètres (170 mètres enterrés) [OFT 2022A]. Enfin, les sols asphaltés sont réduits à leur strict minimum: ils concernent les emprises au sol des voiries et des voies de desserte secondaires [OFS 2017].



En termes de composition urbaine, le quartier peut se lire selon trois axes principaux Est-Ouest au sein desquels se développe un grand système de parc public et d'espaces privatifs qui épousent un principe de composition d'espaces ouverts composé par de larges pelouses et de grands sujets plantés soit isolés, soit en bandeau. Cette chaîne de parcs publics ouvre sur les quais d'Ouchy largement plantés, puis sur le lac en contrepoint. Dans sa partie nord, une forme radio concentrique du système viaire a permis d'implanter le bâti le long des axes structurants avec des jardins systématiquement dessinés au pied des immeubles. Il s'agit d'une figure de composition des espaces bâtis et libres privatifs similaires à celle de la composition urbaine du quartier de Maupas-Valency dans sa partie sud, en contrebas du parc. Notons tout de même un ICU localisé au Nord du secteur caractérisé par le rail et son dépôt. Dans la partie sud du quartier, chaque parcelle possède un pavillon dans un jardin privatif dont une piste à étudier pourrait considérer à terme l'ouverture de certains tronçons en limites de propriété pour faciliter les accès au lac ainsi que les déplacements Nord/Sud. Des arbres centenaires y sont implantés et constituent un *arbo-retum* géant presque à l'échelle de la totalité du quartier. Ceux-ci trouvent des implantations Nord/Sud donnant des logiques d'implantation des parcelles en bandeau à la rue.



QUARTIER MONTOIE-BOURDONNETTE NOMENCLATURE 4

Le quartier de Montoie-Bourdonnette est le quartier lausannois qui offre le plus d'espaces verts et de lieux de détente, tant en termes de surfaces nettes qu'en termes de surfaces relatives (63 ha, soit 37% de sa surface) [OFS 2017]. Tête de proue de cette armature végétalisée: Vidy, son parc d'agglomération très apprécié des Lausannois•e•s. Adossé aux rives du lac, ce parc linéaire s'étend sur près de 100 hectares en frange d'un milieu densément urbanisé et représente un pôle de détente et de loisirs dont le rayonnement

dépasse largement l'échelle communale. Il est caractérisé par une offre très riche et diversifiée, formée d'équipements de sports et de loisirs, de grands espaces verts à disposition du public, d'équipements culturels, d'aires naturelles et de camping. Territoire d'exception, la bande rivulaire offre des situations extraordinaires pour toutes les espèces.

À la fois véritable milieu écologique accueillant des espèces biologiques et espace anthropisé dans lequel se déploie une multiplicité d'activités, les séquences que les rives proposent suggèrent tous les rapports aux forces de la nature (vents, eau, sol, formations végétales), aux plans et aux



vues sur les jetées qu'elles soient bâties, lacustres ou montagnardes.

Le parc participe aux 25% de canopée [OFEV 2019] et au 60% de couverture végétale [USGS 2017] dont profite le quartier. Les configurations spatiales végétalisées du Cimetière et de la Vallée de la jeunesse viennent compléter cette armature végétalisée qui prend sa source à l'affleurement des rives du lac et s'étire en direction du Nord. Parc, Vallée de la jeunesse et cimetière du Bois-de-Vaux avec ses haies et ses prairies fleuries participent à ce pourcentage élevé de couverture végétale et d'espaces verts susmentionnés en comparaison aux autres quartiers lausannois et à la constitution d'un macro-lot de fraîcheur qui se distingue par ses TS moyennes à basses. L'ensemble offre à l'échelle de ce quartier, les prémices d'une chaîne de parcs; véritable matrice reliant ces tâches à dominante végétale dont il s'agira d'étudier finement le réseau des continuités et contiguïtés végétalisées pour assurer des parcours frais et itinéraires de rabattement vers cet équipement frais.

En somme, le quartier est très peu concerné par des ICU [USGS 2017] et est bordé à l'Ouest par la rivière de la Chamberonne qui s'écoule sur une longueur d'environ 530 mètres linéaires en surface [OFT 2022A]. Cette rivière fait l'objet d'un projet de renaturation qui pourrait s'étendre à l'Est au parc jusqu'à la vallée de la jeunesse en épousant également les rives du lac.

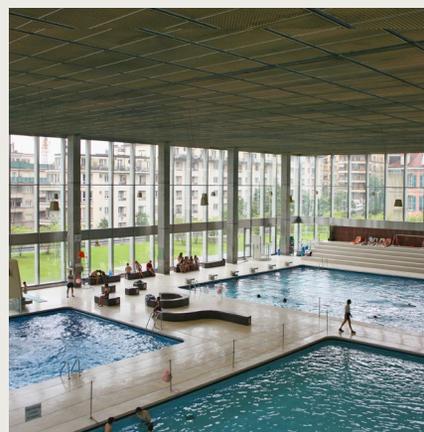
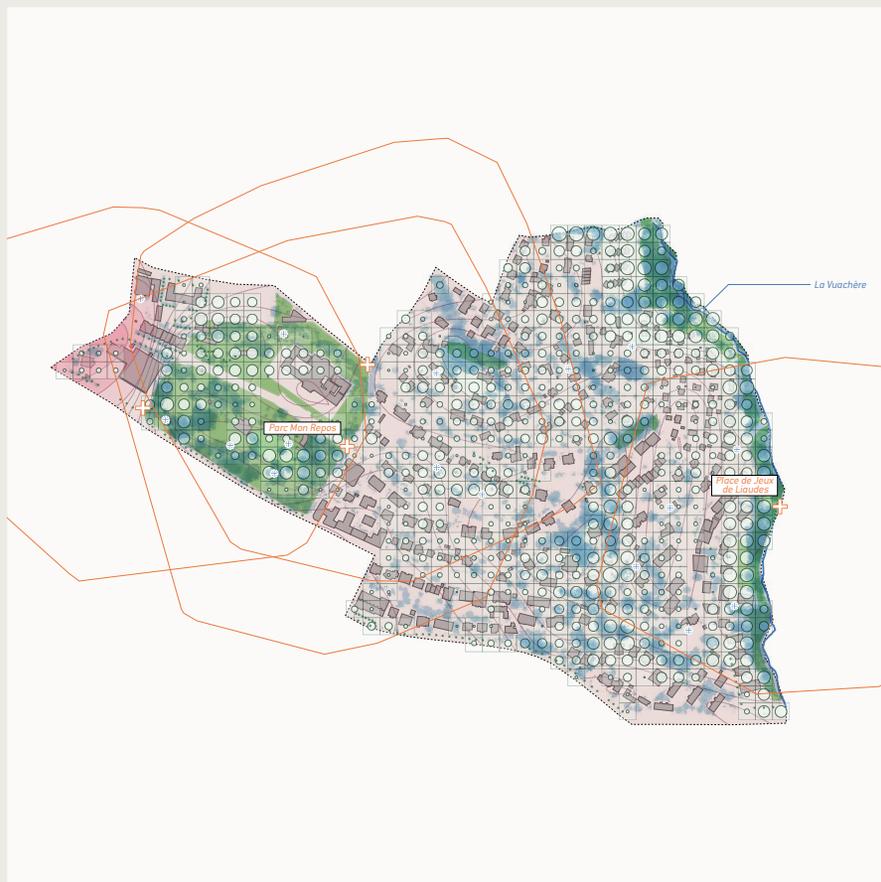


QUARTIER MONTRIOND-COUR NOMENCLATURE 5

Dans le prolongement du quartier de Montoie-Bourdonnette, ce quartier accueille une partie du parc d'agglomération de Vidy qui l'unit à son voisin. Adossé aux rives du lac Léman et profitant de sa fraîcheur, le parc offre des espaces de recouvrement importants en matière d'îlots frais avec des valeurs de TS basses à moyennes. Traversé par la rivière du Flon qui s'écoule en souterrain sur environ 540 mètres linéaires [OFT 2022A], ce macro-lot frais est complété par la piscine Belle-rive, le parc de Milan et son crêt de Montriond.

L'ensemble de ces morphologies environnementales de type parc s'inscrit aussi comme des îlots de fraîcheurs au vu de leurs TS plus basses que celles environnantes et font du quartier de Montriond-Cour, le deuxième quartier lausannois offrant proportionnellement à sa surface le plus d'espaces verts et de lieux de détente (presque 31% de sa surface) [OFS 2017]. Dans le quartier, la structure des mails circulés est largement plantée pour les voiries principales; néanmoins, un potentiel de reconnexion plus fine de la matrice viaire est possible dans la mesure où bon nombre d'axes secondaires pourraient servir de supports à de nouvelles plantations.

Ces nouveaux dispositifs plantés permettraient notamment de pallier aux ICU identifiables dans le secteur nord en partie dû à l'effet du rail ainsi qu'au peu de couverture végétale, à l'ICU au niveau de l'École de Montoie avec sa cour minéralisée. Enfin, notons qu'un ICU est perceptible dans le parc d'agglomération de Vidy correspondant au terrain de foot synthétique qui possède une TS élevée [USGS 2017]. Sans doute, conviendra-t-il de repenser l'utilisation de ce type de revêtement surfacique à l'avenir.



QUARTIER MOUSQUINES-BELLEVUE NOMENCLATURE 9

Ce quartier à vocation principalement résidentielle se caractérise par trois éléments singuliers qui fondent sa particularité. La Vuachère en est la première. Cette rivière longe le front est du quartier qu'elle sépare de la commune de Pully et offre un espace de fraîcheur Nord/Sud (TS moyenne à basse) et de parcours/balades le long de cette infrastructure géographique sur près de 300 mètres à ciel ouvert [OFT 2022A].

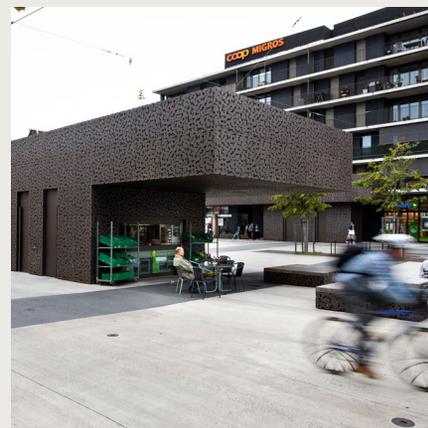
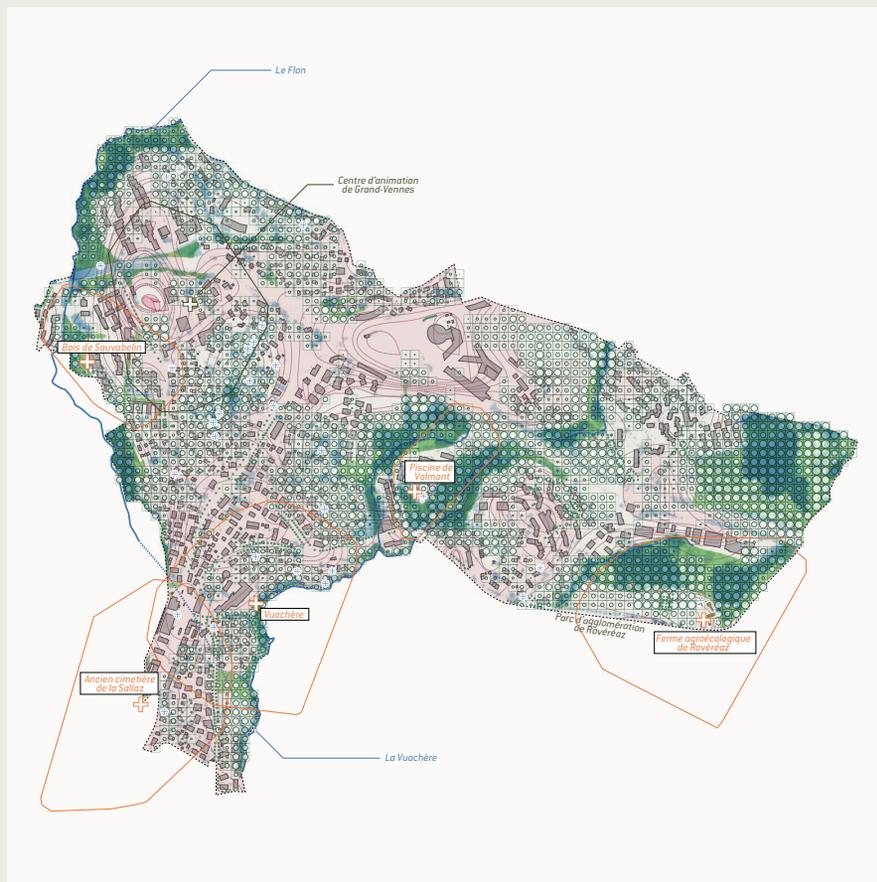
La deuxième particularité est la présence du parc de Mon-Repos, système intermédiaire

relais de parc urbain interquartiers. Ce parc offre une deuxième porte d'entrée fraîche publique à l'échelle du quartier en générant un îlot de fraîcheur caractérisé par ses TS moyennes à basses [LANDSAT 8].

La troisième singularité tient au principe de composition spatiale des espaces privés des pavillons et de petits collectifs: l'ensemble des parcelles privées se voit doté de principe de résidentialisation de pieds d'immeubles avec des haies plantées sur rues, des jardins en arrière-cours avec la présence d'anciens sujets, à tel point que les habitations semblent directement insérées dans ce système de parc forestier étroitement jumelé à sa topographie. Ce système de parc forestier participe d'ailleurs au 28% de canopée qu'enregistre ce quartier et à la couverture végétale qui s'étend sur presque 80% du territoire [USGS 2017].

L'ICU qui retient ici l'attention est constitué par des panneaux solaires au Sud du bâtiment de la piscine de Mon-Repos, qui génèrent des TS très élevées.

L'ICU qui retient ici l'attention est constitué par des panneaux solaires au Sud du bâtiment de la piscine de Mon-Repos, qui génèrent des TS très élevées.

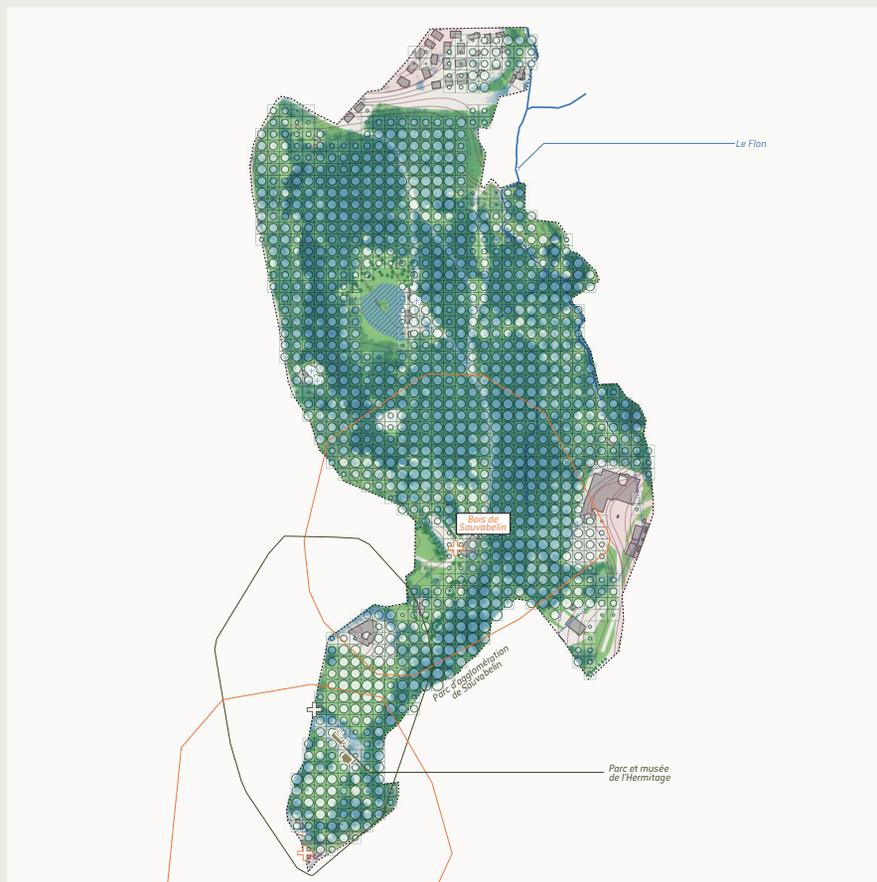


QUARTIER SALLAZ-VENNES-SÉCHAUD NOMENCLATURE 12

Le quartier est bordé à l'Est par la Vuachère et à l'Ouest par la rivière du Flon; à l'exception de quelque 790 mètres linéaires souterrains, toutes deux s'écoulent à ciel ouvert sur presque 5 km [OFT 2022A]. Elles participent à dessiner une ossature fraîche de massifs et cordons forestiers reliés dans une dynamique Nord/Sud. En plus de ces deux éléments créant des îlots de fraîcheur [les TS sont basses à moyennes] [USGS 2017], des structures fortes fraîches ponctuent elles aussi le quartier telles que l'entrée ouest du bois

de Sauvabelin, des poches forestières à l'Est du quartier, la piscine de Valmont ou encore la Ferme agroécologique de la Rovéréaz. Cet ensemble d'espaces participe aux 24% de la canopée recouvrant le quartier [OFEV 2019], au 65% de couverture végétale [NDVI, élevé très élevé] [USGS 2017], mais aussi à la forte proportion de TS moyennes et basses [52%] [USGS 2017]. Au regard de cette donnée caractérisée par la TS, ce quartier s'inscrit comme l'un des quartiers les plus frais de Lausanne. Il est impacté par l'effet de TS élevées de manière non homogène: bretelles et barreau autoroutier, parc Aquatis, nouvelles opérations d'aménagement qui se déploient à l'Ouest de ce

dernier, système d'axes routiers, places publiques favorisent des TS élevées. La route de Berne, route principale de desserte Nord Sud de quartier et son accroche avec la place de la Sallaz contiennent des températures élevées. Cette place majeure dans la chaîne des espaces publics lausannois requalifiés est aujourd'hui une place multimodale principalement minéralisée qu'il conviendrait de planter massivement pour pallier aux TS élevées pour ce cœur de quartier. Des terrains de football avec un revêtement synthétique sont présents en secteur Ouest (secteur Omnisports Vennes) et participent également à augmenter les TS et l'inconfort du secteur en période de chaleur.



QUARTIER SAUVABELIN

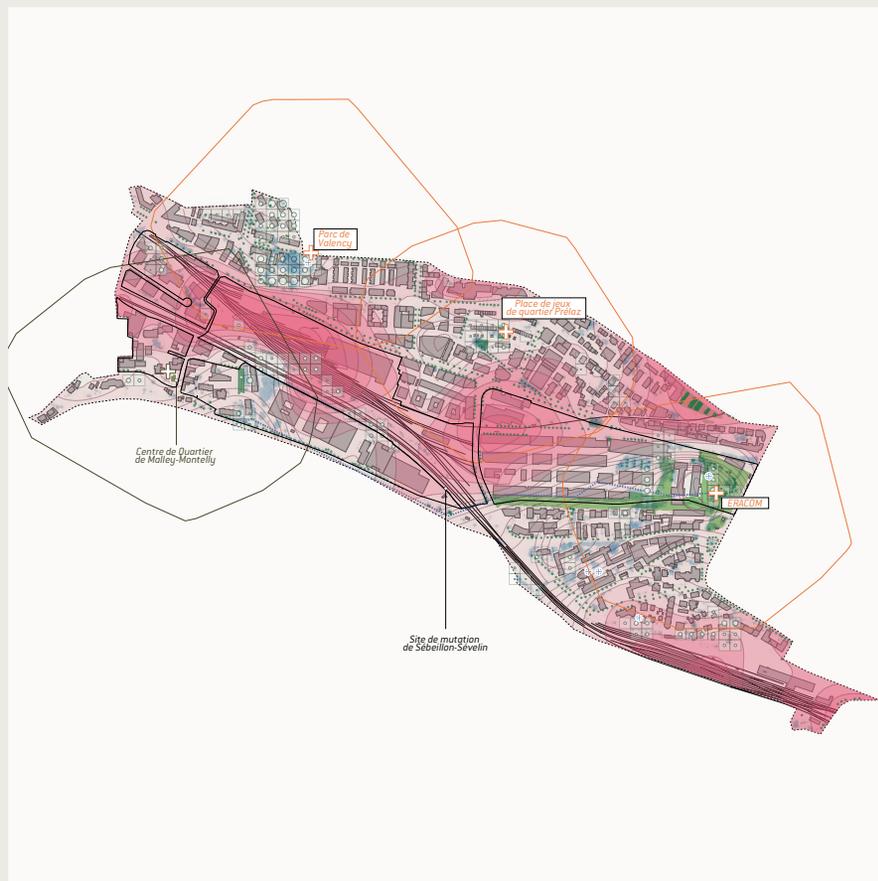
NOMENCLATURE 13

Véritable poumon végétalisé de Lausanne avec le parc de l'Hermitage et le bois de Sauvabelin, le quartier, accroché à une côte altimétrique de 600 mètres offre le pourcentage de forêt le plus élevé (60% de la surface du quartier) [OFS 2017]. Ce chiffre s'explique par la configuration du parc d'agglomération de Sauvabelin, le troisième à cette échelle, de près de 90 hectares que l'on retrouve dans cette nomenclature de quartier, prolongeant la coulée verte jusqu'au centre historique de Lausanne. Ce parc se caractérise par son

relief, son couvert forestier et présente plusieurs facettes et pôles d'intérêts: au Sud, le parc urbain de l'Hermitage (musée, tribunal cantonal, etc.); à l'Est, le vallon boisé du Flon qui s'écoule sur près de 1,5 kilomètre à ciel ouvert [OFT 2022A] et parcourt le quartier; sur la partie amont, la colline boisée, couronnée par le lac et diverses structures d'accueil et de loisirs, à l'image de la tour de Sauvabelin. Par le développement de son offre de loisirs et de détente dans un cadre naturel, le site constitue un lieu de socialisation très fréquenté par les Lausannois•e•s.

Il s'agit du quartier ayant proportionnellement la couverture végétale la plus élevée, atteignant

presque les 90% de la surface totale [USGS 2017], de même pour la canopée, qui recouvre plus de 70% du quartier [OFEV 2019] et qui est composée notamment des quelque 155 arbres isolés importants recensés [VILLE DE LAUSANNE 2021A]. L'ensemble de ces paramètres caractérise le quartier comme le plus frais de Lausanne au regard des températures considérées en dessous des TS dites élevées avec plus de 95% de sa surface [USGS 2017].



QUARTIER SÉBEILLON-MALLEY

NOMENCLATURE 3

Le quartier est traversé par des logiques infra-structurelles de type voies de chemin de fer CFF et du métro m1 créant des césures dans les franchissements Nord/Sud. Le secteur industriel de Sébeillon vient prolonger le quartier du Flon en suivant l'ancien tracé de la rivière et la zone industrielle se poursuit le long des voies de chemin de fer CFF en direction de Malley. De cet héritage presque exclusivement industriel jumelé à l'emprise au sol des rails des CFF, résulte un quartier de sols en remblais dont la couverture végétale

est la plus faible en comparaison aux autres quartiers: son indice ne dépasse pas les 11% [USGS 2017]. Ajoutons aussi que même si l'on repère quelque 890 arbres isolés classés comme importants [VILLE DE LAUSANNE 2021A], la part de canopée est la plus basse des quartiers lausannois ne dépassant pas les 8%. Enfin, à cette configuration peu végétalisée, s'ajoute la rivière du Flon, qui traverse le quartier exclusivement en souterrain sur environ 1,3 km linéaire [OFT 2022A]. Compte tenu de ces paramètres, plus de 55% de sa surface enregistre des TS considérées comme très élevées, ce qui en fait le quartier le plus chaud de Lausanne [USGS 2017]. On



observe que ces températures hautes se situent principalement le long des voies de chemin de fer CFF (les voies de chemin de fer sont reconnues comme points chauds dans les villes) et dans la zone industrielle de Sébeillon.

Pour autant, on notera que quelques espaces verts publics qui composent ce quartier font rempart à ces températures hautes; c'est l'exemple notamment des abords du parc de Valency où l'on observe une diminution des températures. Cependant, ces espaces ne parviennent pas à couler en direction du Sud pour rafraîchir le quartier et, bien qu'ils soient plus frais que leur environnement direct, ils enregistrent tout de même des TS élevées. En somme, ce quartier qui se positionne comme un quartier vulnérable au vu de ses ICU et de son manque d'espaces frais, doit profiter du fait d'être classé en site majeur de mutation urbaine dans le Plan Directeur communal lausannois [VILLE DE LAUSANNE 2020] pour enclencher une véritable transition en faveur de l'adaptation au changement climatique. En effet, le secteur Sébeillon-Sévelin fera l'objet d'une importante requalification stratégique ces prochaines années.



QUARTIER SOUS-GARE-OUCHY NOMENCLATURE 6

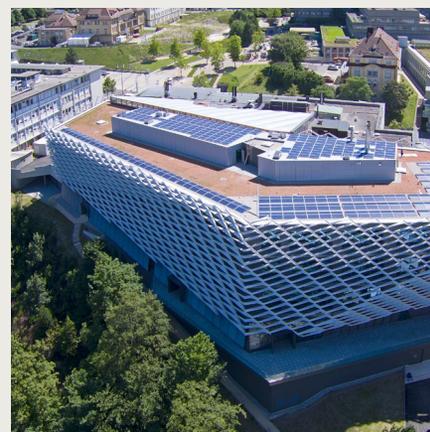
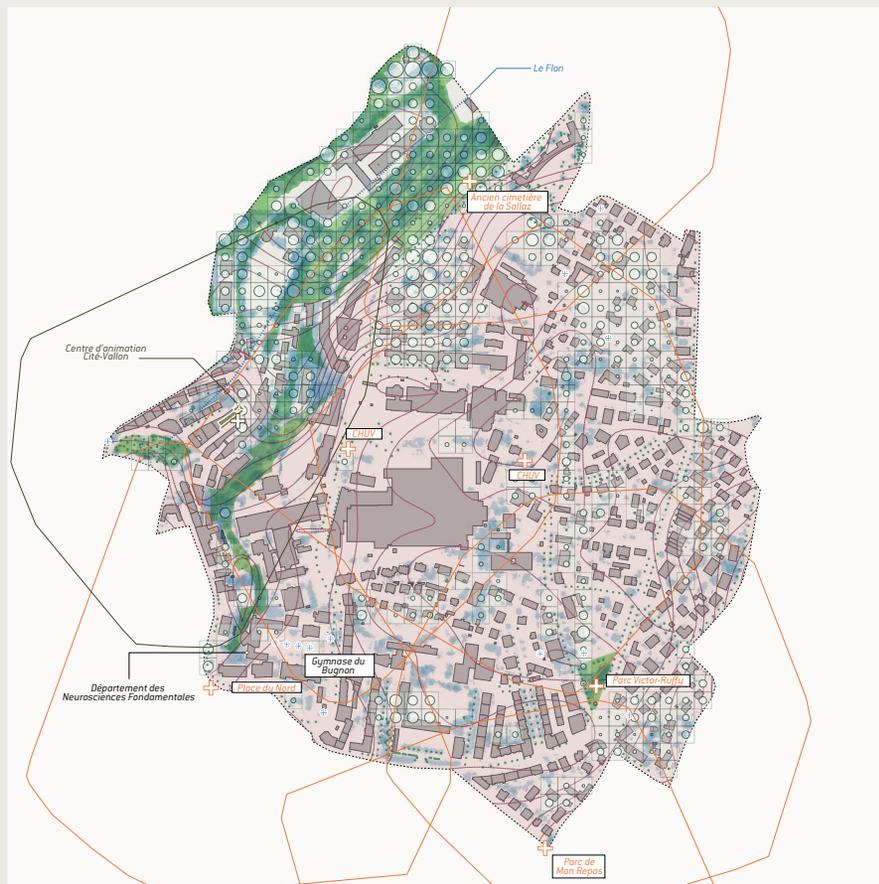
Le quartier est situé sous la gare CFF de Lausanne et s'étend jusqu'aux rives du lac. Il offre le potentiel d'un itinéraire de balade longitudinale Nord/Sud pour appréhender la ville dans son rapport aux vues, soit par des échappées visuelles sur la chaîne des Alpes le long d'axes viaires structurants ou au détour d'une rue, soit en amphithéâtre depuis le débarcadère d'Ouchy. Ce sont autant de dispositifs de vue surprenants et époustoufflants qui ponctuent le quartier et offrent le potentiel d'un itinéraire de promenade des quais depuis

les rives du lac à ceux de la gare pour appréhender la ville dans son rapport aux vues et aux plans. Ces échappées contribuent notamment à l'attractivité de Lausanne et fixent des repères visuels en contrepoint des vues en direction du Nord vers la gare comme au Sud en direction du lac (avancements lacustres, clochers, tours, relief remarquable, etc.). Elles sont soulignées par des grands mails plantés offrant une surface de canopée avec des sujets majeurs ainsi que des cours d'îlots végétalisés.

Toute la partie sud du quartier est ponctuée par des parcs tels que la promenade de la Ficelle ou encore le parc du Musée olympique et la prome-



nade le long des rives du lac Léman. Dans son prolongement, le parc habité de l'International Institute for Management Development et le lac viennent parfaire un dispositif de déambulation accessible à moins de 5 minutes à pied pour les riverain•e•s et crée des îlots de fraîcheur grâce à leurs TS moyennes voire basses [USGS 2017]. Le Nord du quartier est englobé dans un secteur aux températures très élevées et extrêmement élevées [17% du quartier] [USGS 2017] à l'affleurement des rails CFF suscitant ainsi des ICU. Ces températures importantes se déploient au Sud, le long de bâtiments en îlots dont leurs cœurs sont relativement minéralisés et même parfois sujet aux ICU [USGS 2017]. Ce constat s'explique notamment par le fait que le quartier reste dans l'ensemble peu végétalisé [USGS 2017] avec une faible surface de canopée; les deux indicateurs n'atteignant pas, individuellement, les 20% de la surface totale du quartier. Des logiques de requalification de plantations de mails sur voiries structurantes pourront épouser la structure en place en plantant massivement le long des grands axes et en donnant une ambiance de voie plantée sur les rues secondaires.



QUARTIER VALLON-BÉTHUSY NOMENCLATURE 10

Le quartier est traversé par un cordon boisé du Vallon sur environ 800 m qui correspond à l'ancien cortège de la forêt ripisylve qui accompagnait la rivière du Flon aujourd'hui sous remblais. Le cours d'eau du Flon a ciselé la géographie singulière de ce quartier en modelant une vallée et un plateau. Fort de cette topographie particulière, le quartier a hébergé l'ancien funiculaire Lausanne-Signal qui permettait de relier le Vallon à Sauvabelin pour assurer une desserte locale [1899-1948]. Il se distingue aujourd'hui par l'équipement du Centre

hospitalier universitaire vaudois (CHUV), le plus important employeur du canton et de la ville. Cette structure en vallon influence aujourd'hui fortement la répartition d'un secteur frais: l'espace largement planté en creux de vallon où sillonnait l'ancien tracé du Flon – et ce, même si les emprises au sol sont pourvues d'espaces bâtis aux fonctions industrielles (entrepôts et magasins de la ville, usine Tridel). Cet espace, qui concentre une grande partie des 20% de surface de canopée du quartier [OFEV 2019] créé un îlot de fraîcheur en bénéficiant de TS moyennes à basses correspondant à environ 16% de la surface du territoire [USGS 2017].

Des TS plus élevées sont enregistrées dans un tissu isolé correspondant à des maisons individuelles et des immeubles d'habitation de 5-6 étages sans espaces libres végétalisés.

Certaines infrastructures bâties avec une forte emprise au sol engendrent des TS encore plus élevées, sans pour autant créer d'ICU. C'est notamment le cas du CHUV, du Gymnase du Bugnon ou encore de l'antenne du Département des Neurosciences fondamentales de l'UNIL [USGS 2017]. Dans ces équipements, un travail sur les dents creuses et les espaces libres pourrait être entrepris en faveur de l'installation d'une résille plantée accessible au public.



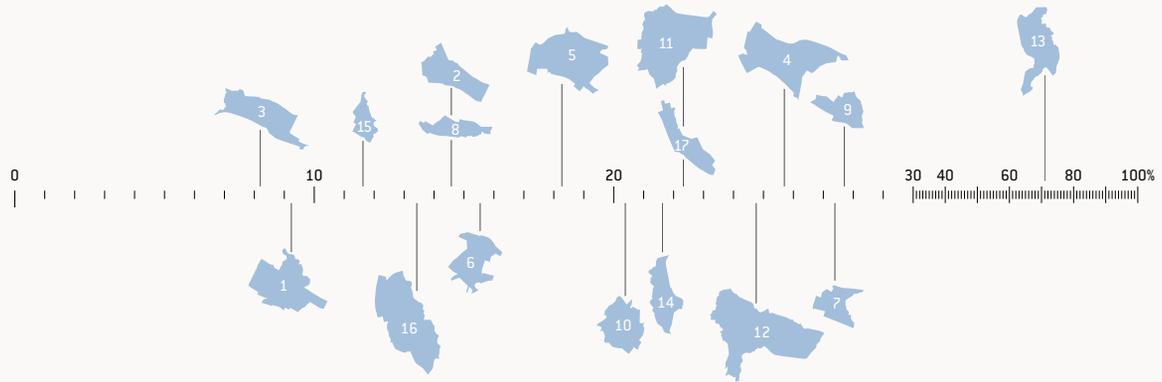
QUARTIER VINET-PONTAISE

NOMENCLATURE 15

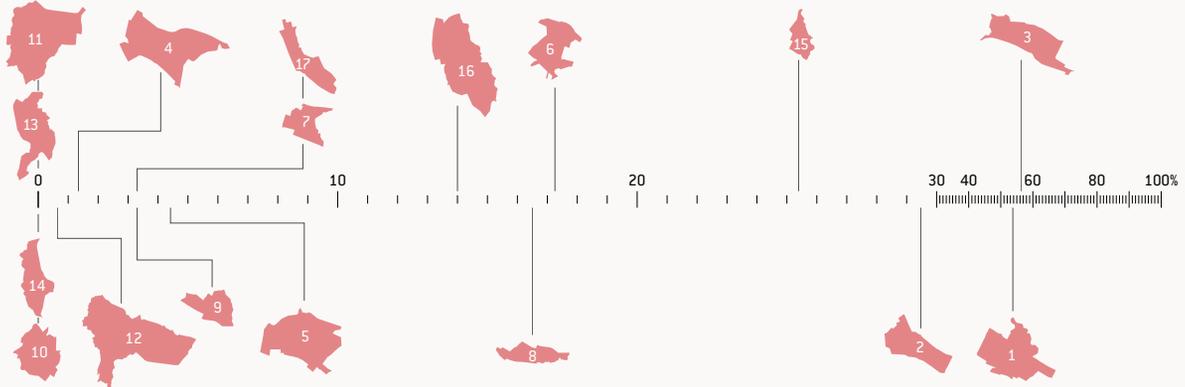
Jouxant l'hypercentre, Vinet Pontaise s'avère être densément bâti. Cette minéralité se retrouve dès lors dans son emprise au sol dédiée aux bâtiments (70%) mais aussi dans sa surface consacrée aux infrastructures de transports qui représente près de 30% [OFS 2017]. Ceci a pour conséquence l'un des plus faibles indices d'espace vert et de détente (1%), l'une des couvertures végétales la plus faible avec à peine 11% de la surface du quartier [USGS 2017]; de même que pour la surface de canopée qui enregistre la même valeur (11%).

Ces proportions expliquent que Vinet-Pontaise soit l'un des quartiers emmagasinant les plus températures parmi les plus fortes de Lausanne: toute sa frange Sud possède des TS de classe très élevée, ce qui représente plus du quart du quartier [USGS 2017]. Notons tout de même la présence d'un îlot de fraîcheur au milieu du territoire qui, bien qu'enregistrant des TS élevées, est plus frais que les espaces environnant grâce à la présence de jardins dotés d'arbres majeurs. Malgré cela, en raison des paramètres susmentionnés et de l'absence d'espaces aux TS en deçà des valeurs élevées, le quartier est vulnérable aux vagues de chaleur.

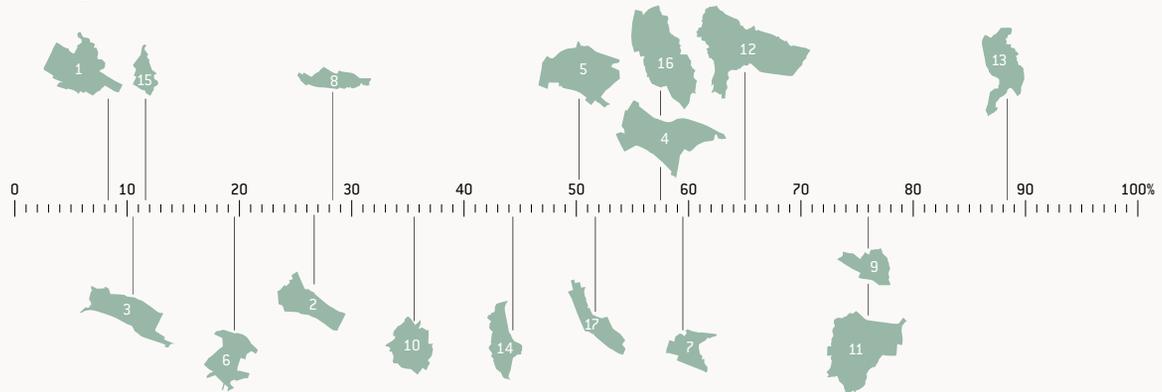
Part de la surface de canopée ($\geq 6m$) par rapport à la surface totale du quartier



Part de la surface des ICU (TS très élevée et extrêmement élevée) par rapport à la surface totale du quartier



Part de la couverture végétale (NDVI élevé et très élevé) par rapport à la surface totale du quartier



LES FAMILLES DE QUARTIERS

Pour conclure cette analyse comparative des quartiers lausannois, il devient intéressant de dresser le bilan des familles de quartiers, sur la base des indicateurs principaux utilisés jusqu'à présent. Cette approche permet de disposer les quartiers sur des échelles de valeurs comparables en procédant à leur échantillonnage. Les quartiers de Chailly-Rovéréaz, de Sauvabelin, de Borde-Bellevaux et de Vallon-Béthusy possèdent sans conteste une part nulle de surface d'ICU par rapport à la surface totale du quartier. Il s'agit des quartiers les plus frais, sans doute mieux préparés aux vagues de chaleur à venir. Ils sont suivis de près par le quartier de Sallaz-Vennes-Séchaud puis de Montoie-Bourdonnette, situés aux deux extrêmes nord et sud de Lausanne. Beaulieu-Grey-Boisy, Monchoisi et Montriond-Cour sont tous les trois dans le premier décile le plus bas de cette classe. En tête des quartiers les plus chauds de Lausanne, un duo se dégage au regard de la présence d'ICU: Sébeillon-Malley et le Centre, ce qui les positionne comme des quartiers les plus vulnérables aux vagues de chaleur. Notons encore que nous avons considéré dans l'analyse ci-dessus les quartiers de Florimont-Chissiez et Vinet-Pontaise comme vulnérables, pour la présence d'ICU ainsi que pour l'absence de secteurs aux TS basses voire moyennes.

La balance pour ce classement des quartiers par TS au regard des ICU est pratiquement redistribuée à l'inverse lorsqu'il s'agit de la part de la couverture végétale: les quartiers qui possédaient des TS très élevées ont pour l'essentiel une faible couverture végétale; *a contrario* ceux qui bénéficient de TS basses possèdent une couverture végétale plus importante. En tête de ce classement, Sauvabelin. Ce quartier en est le premier et dispose d'une couverture végétale proportionnellement la plus importante de Lausanne suivi par les quartiers de Mousquines-Bellevue et de Chailly-Rovéréaz. Plusieurs quartiers enregistrent une part de couverture végétale en dessus des 50%: Sallaz-Vennes-Séchaud, Monchoisi, Montoie-Bourdonnette puis Bossons-Blécherette. Vinet-Pontaise et Beaulieu-Grey-Boisy se situent davantage autour des 50%. Parmi les attendus, on retrouve le quartier du Centre qui possède la couverture végétale la plus basse, suivi de Sébeillon-Sévelin puis Vinet-Pontaise. Toutefois, cet effet de redistribution d'échelles de valeur des TS/ICU n'est pas systématique: bien que les quartiers de Borde-Bellevaux et de Vallon-Béthusy n'enregistrent pas d'ICU, ils n'ont pas non plus de part de couverture végétale très importante (compris entre 35 et 45%). Ce constat rejoint les analyses menées dans la première partie du chapitre qui démontrent que la végétation ne peut, à elle seule, expliquer les TS, mais que d'autres facteurs entrent en jeu.

Concernant la surface de canopée, que nous considérons pour rappel égale ou supérieure à 6 m, il est intéressant de mettre en perspective ce classement par rapport aux objectifs de la Stratégie d'arborisation de la Ville de Lausanne qui vise à développer 30% de couverture de canopée supplémentaire d'ici 2040 à l'échelle de la ville (hors zone foraine) [VILLE DE LAUSANNE 2021B]. Même si l'objectif considère l'ensemble de la ville et ne signifie donc pas pour autant que tous les quartiers doivent atteindre les 30%, il est intéressant de noter que seul le quartier de Sauvabelin atteint une couverture supérieure



Ensembles Aloys-Fauquez
et ses jardins.

avec un taux de plus de 70%. Certains quartiers sont proches de cet objectif, comme ceux de Montchoisi ou de Mousquines-Bellevue; *a contrario*, d'autres sont plus éloignés dans le classement tels que les quartiers du Centre ou de Sébeillon-Malley. Enfin, notons que hauteur de canopée ne signifie pas corrélation avec la part de surface végétalisée par quartier – à l'exception du quartier du Centre qui possède un pourcentage quasi identique entre la surface végétalisée et hauteur de canopée – à l'exception du quartier de Sauvabelin qui entretient lui aussi des rapports constants et des quartiers de Vinet-Pontaise et Sébeillon-Malley qui à leur tour possèdent des pourcentages sensiblement identiques. Cette analyse comparative entre TS, NDVI, canopée et occupation du sol permet aujourd'hui de poser les jalons de données géoréférencées pour orienter les préconisations concrètes afin de réfléchir à une ville bioclimatique. Les résultats interrogent les outils du projet de la planification stratégique à celle du projet urbain. Promouvoir des formes urbaines capables de faire circuler l'air, agir sur les espaces libres en jouant sur l'imperméabilisation des sols, en privilégiant des matériaux clairs qui retiennent moins la chaleur, en remettant l'eau à ciel ouvert, en plantant massivement pour préparer les paysages habitables de demain, figurent parmi les solutions à mettre en œuvre pour lutter contre les ICU. La ville dense et qualifiée devra être une ville aérée et végétalisée. Les notions d'îlots de fraîcheur et de refuge climatique restent un défi à relever pour lesquels les caractéristiques propres des bâtiments publics comptent tout autant que les environnements dans lesquels ils s'insèrent.

Face au changement climatique, les situations d'aujourd'hui n'ont sans doute rien à voir avec celles de demain: elles invitent constamment à réinterroger la façon de construire

et d'aménager dans une logique transcalaire et pluridisciplinaire. Les constats relevés grâce aux images satellites et autres données exploitées appellent à développer fortement les outils de connaissance capables de mesurer et d'anticiper précisément les impacts du réchauffement climatique, et ce à une échelle locale voire microlocale. Les ICU apparaissent en effet ponctuellement au gré de configurations bien particulières qu'il nous faut pouvoir décrypter finement afin de mettre en place une série de mesures adaptatives dans des sites plus vulnérables. Pour approfondir cette connaissance et la monitorer de manière fine, d'autres méthodes peuvent être corrélées à la méthode d'investigation menée ici (mesures de TS par capteurs, corrélation avec les paramètres aérauliques entre autres). Les données produites à l'issue de cette analyse des quartiers peuvent être intégrées aux outils de projet, tel que proposé dans le tableau ci-dessous.

TYPES D'INTERVENTION	AU SEIN DE QUEL(S) OUTILS OPÉRATIONNELS ET CADRES MOBILISABLES INTÉGRER CES ANALYSES ?
POLITIQUES PUBLIQUES ET ORIENTATIONS STRATÉGIQUES	Plans natures Plans canopée Plans des îlots de fraîcheur et des ICU Plans des vulnérabilités spatiales
POLITIQUES STRATÉGIQUES D'AMÉNAGEMENT	Projet d'Agglomération Lausanne-Morges (PALM) Plan Directeur Intercommunal (PDi)
PLANIFICATION ET PROGRAMMATION URBAINE	Plan général d'affectation (PGA) Plan Directeur communal (PDCom) Plan localisé de quartiers (PLQ)
PROJETS D'AMÉNAGEMENT	Étude d'impact Cahiers de préconisations
AMÉNAGEMENT DE MILIEUX OUVERTS (ESPACES PUBLICS ET ESPACES PRIVÉS)	Référentiels Cahier des charges, cahiers de préconisations Études de maîtrise d'œuvre

Des interventions à intégrer dans les outils du projet.



