

Table des matières

Table des figures.....	3
1. Glossaire	4
2. Remerciements.....	5
3. Introduction.....	6
4. Présentation de l'entreprise	7
4.1. Unité Alpes Centre Est (ACE) et Agence de Clermont-Ferrand	8
5. Contexte du stage.....	9
6. Missions	10
6.1. Outil d'aide à l'intégration de la problématique des ICU.....	10
6.1.1. Contexte de la mission	10
6.1.2. Les îlots de Chaleur Urbains (ICU)	11
6.1.2.1. Méthodologie de la recherche	11
6.1.2.2. Présentation du phénomène.....	12
6.1.2.3. Outils de diagnostic et d'aide	13
6.1.3. Leviers d'action contre les ICU	14
6.1.3.1. Propriétés thermiques des matériaux.....	15
6.1.3.2. Morphologie urbaine.....	16
6.1.3.3. Présence de végétation	16
6.1.3.4. Chaleur anthropique	17
6.1.3.5. Présence d'eau	18
6.1.4. Conclusion et synthèse des bonnes pratiques	19
6.2. Présentation de l'outil méthodologique	20
6.3. Conclusion	21
6.4. Gestion des eaux pluviales du CEA.....	21
6.4.1. Contexte de l'étude	21
6.4.2. Etudes d'AVP pour la réhabilitation de canalisation	22
6.4.2.1. Hypothèses et dimensionnement des ouvrages de rétention	22
6.4.2.2. Hypothèses et dimensionnement de la réhabilitation de la canalisation	25
6.4.3. Etude de faisabilité pour la gestion alternative des eaux pluviales	25
6.4.3.1. Hypothèses de dimensionnement des ouvrages de rétention	25
6.4.3.2. Simulation des scénarios d'infiltration	27
7. Retour sur les apports du stage.....	29
8. Conclusion	29
9. Bibliographie.....	30
10. Annexes	31

Table des figures

Figure 1 – Différentes missions d'INGEROP, source : INGEROP	7
Figure 2 – Organigramme du service Ville de Clermont-Ferrand, source : INGEROP	8
Figure 3 - Niveau de connaissance scientifique retenu selon le nombre d'études de cas identifiées et la concordance des résultats, source : ADEME (2021).....	11
Figure 4 - Description du phénomène d'ICU, source : TRIBU.....	12
Figure 5 - Décès journaliers et températures en Ile-de-France en août 2003, source : ORS (2009). ...	13
Figure 6 - Synthèse des causes de formation de l'ICU, source : Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain, ADEME (2012).....	13
Figure 7 – Influence de l'albédo sur les températures de surface selon l'heure de la journée, source : K. Watson (1975).....	15
Figure 8 - Caractéristiques de surface des matériaux de toiture les plus communs, source : H.Liu (2005).	16
Figure 9 - Impact du chauffage sur l'ICU dans l'espace public, source : APUR (2012).....	17
Figure 10 - Bilan énergétique du territoire parisien entre mai et septembre 2009, source : CEREN (2011).	18
Figure 11 - Evolution des consommations d'énergie des commerces parisiens de 1990 à 2009, source : CEREN (2011).....	18
Figure 12 - Contribution à l'échauffement atmosphérique du revêtement avec et sans arrosage, source : APUR.....	19
Figure 13 - Ordre de grandeur du refroidissement moyen journalier de l'air occasionné par un dispositif en regard de sa maturité, source : ADEME (2017).....	20
Figure 14 – Tranchée infiltrante, A. Foucher (2021)	27

1. Glossaire

Ilot de chaleur urbain (ICU) : Différence de température, généralement positive, entre le centre urbain et la périphérie des villes.

Confort thermique : plage de température procurant une sensation de bien-être.

Albédo : capacité d'un matériau à réfléchir les rayonnements solaires et donc à ne pas en absorber la chaleur, il s'agit d'un coefficient allant de 0 à 1.

Emissivité : capacité des matériaux à réémettre, notamment sous forme de rayonnements infrarouges la chaleur accumulée dans la journée lorsque le matériau se refroidit la nuit.

Canopée urbaine : couvert arboré renvoyant aux zones ombragées par la végétation en ville.

Canyon urbain : passage encaissé entre deux reliefs de bâtiments sur plus de 100 mètres de manière ininterrompue et avec un rapport moyen de hauteur du bâti sur la largeur de rue supérieure à 0,5.

Evapotranspiration : phénomène combiné de perte en eau par transpiration des végétaux et par évaporation directe de l'eau du sol et des surfaces d'eau libre.

Facteur de vue du ciel : proportion de ciel visible depuis le sol, il s'agit d'un angle exprimé en degré ou en pourcentage.

Rugosité : caractéristique de l'état d'un terrain dépendant des obstacles et de leur densité ayant un effet sur l'écoulement de l'air.

Smog : mélange de polluants atmosphériques (principalement d'ozone et de particules fines) à l'aspect grisâtre pouvant entraîner des conséquences pour la santé humaine.

Coefficients de Montana : ajustement statistique fourni par Météo France entre l'intensité et la durée des pluies sur un territoire pour une période de retour donnée.

Bassin versant : espace géographique dans lequel les eaux de pluie convergent vers un exutoire.

Débit de fuite : débit d'eau s'échappant de l'endroit dans lequel il est confiné.

2. Remerciements

Dans un premier temps, je tiens à remercier monsieur BLANCHARD, mon maître de stage ainsi que monsieur RALLIERES pour m'avoir permis de réaliser ce stage et m'avoir encadré tout au long de ce travail malgré le contexte sanitaire. Merci également à l'ensemble du service Ville et Transport pour m'avoir beaucoup appris durant ces 4 mois.

Je remercie également monsieur LARRIBE, mon tuteur de stage pour sa disponibilité et plus généralement l'école de Polytech Tours et la formation Aménagement et Environnement pour m'avoir donné les clés permettant de mener à bien ce stage de 4^{ème} année.

3. Introduction

Le contexte sanitaire encore actuel n'a pas permis la réalisation d'un stage de 3^{ème} année durant l'été 2020. Ce stage constitue donc ma première expérience professionnelle dans le domaine de l'aménagement et de l'environnement.

La 4^{ème} année à Polytech Tours était marquée par le choix d'une spécialisation représentant un volume d'heures et de travail important dans la formation. Mon choix s'est porté sur l'option Réseaux et Systèmes de l'Environnement et des Aménagements Urbains (RESEAU) avec pour projet de m'orienter sur des projets d'infrastructures de transport et des questions portant sur le dimensionnement. La 4^{ème} année d'école d'ingénieur a d'ailleurs mené à la réalisation d'un projet pédagogique portant sur un système de transport collectif guidé par câble pour l'université de Tours. La recherche de mon stage s'est donc portée assez naturellement vers un Bureau d'étude technique. Et c'est ainsi que j'ai eu l'opportunité d'intégrer le service Ville et Transport de l'agence de Clermont-Ferrand d'INGEROP.

Les objectifs visés par la réalisation de ce stage étaient les suivants :

- Acquérir des connaissances générales sur le fonctionnement d'un bureau d'étude technique et la mission de maîtrise d'œuvre ainsi que les différentes relations entre les acteurs des projets,
- Acquérir des connaissances plus techniques sur le dimensionnement des ouvrages ou aménagements lors de différents projets,
- Participer à la vie en entreprise.

Ce rapport de stage s'attardera sur la présentation de l'entreprise INGEROP et de son agence de Clermont-Ferrand, de son fonctionnement et de ses missions. Seront ensuite présentées les 2 missions principales qui ont rythmées ces 4 mois de stage. Pour ensuite faire un bilan des connaissances et compétences acquises au cours de cette expérience professionnelle et sur les perspectives envisagées.

4. Présentation de l'entreprise

Créée en 1992 par le regroupement des sociétés d'ingénierie technique INTER G et SEEE, INGEROP est une société d'ingénierie française et indépendante. Il représente un acteur de référence en France mais aussi à l'international avec ses 2100 collaborateurs répartis dans 69 implantations à travers le monde pour des activités dans 70 pays différents. L'entreprise effectue des missions à tous les stades du projet (Figure 1) et se positionne sur de l'ingénierie et du conseil en mobilité durable, transition énergétique et cadre de vie en proposant excellence technique, expertise, innovation, transversalité et adaptation des solutions aux recherches et performances fonctionnelles de leurs clients.



Figure 1 – Différentes missions d'INGEROP, source : INGEROP

L'action d'INGEROP est déclinée en 7 activités :

- Le bâtiment,
- L'industrie,
- L'eau,
- Le transport,
- L'énergie,
- La ville,
- Les infrastructures et la mobilité.

Le nom d'INGEROP est associé à de nombreux projets de grande envergure tels que :

- Le projet Window à La Défense,
- Le transport de câble urbain de Medellin,
- Le pont de Vidin – Calafat sur le Danube,

- Le barrage de Cahora Bassa au Mozambique,
- L'ouvrage de franchissement du Cher à Tours,
- L'aménagement du quartier de la tour Eiffel.

4.1. Unité Alpes Centre Est (ACE) et Agence de Clermont-Ferrand

L'unité Alpes Centre Est regroupe les agences de Clermont-Ferrand, Vienne, Grenoble, Annecy, Marcoule et Lyon (siège social). Ce regroupement permet à ses quelque 360 collaborateurs d'intervenir avec des compétences en Energie, Bâtiment, Génie Civil, Nucléaire et Industrie, Infrastructures ainsi que Ville et Transport.

Le service Ville de l'Agence de Clermont-Ferrand (Figure 2) assure principalement des missions de Maitrise d'œuvre et plus rarement d'assistance à Maitrise d'ouvrage pour des Maitresses d'ouvrage aussi bien publiques (dans le périmètre proche de Clermont-Ferrand) que privées (partout en France). Le service offre des compétences d'ingénierie à toutes les étapes de projets d'aménagement de voirie et de réseaux divers.

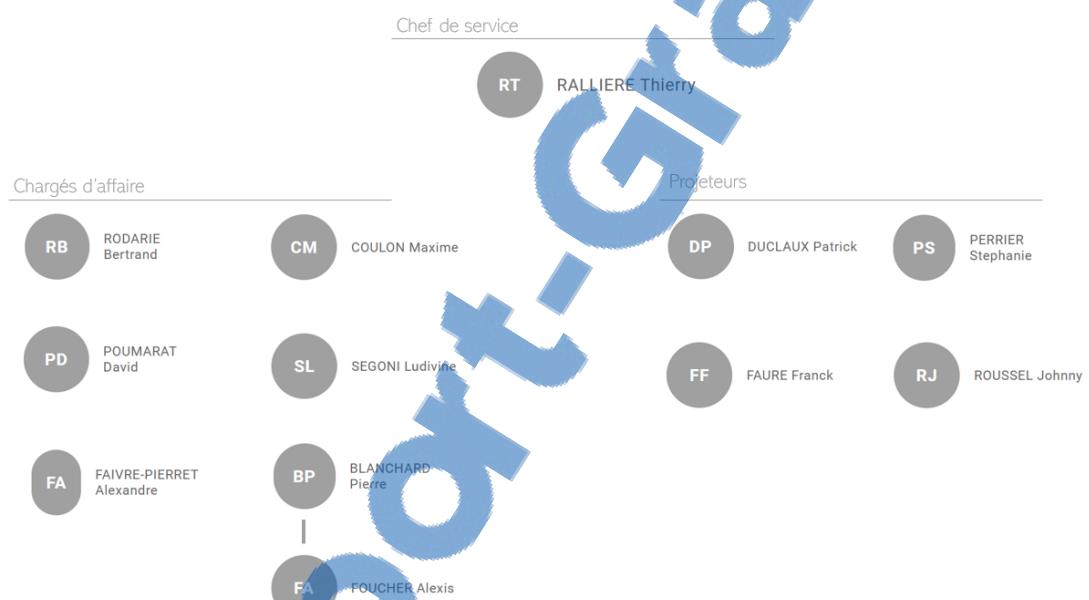


Figure 2 – Organigramme du service Ville de Clermont-Ferrand, source : INGEROP

5. Contexte du stage

L'objectif de la mission proposée par INGEROP pour ce stage était le suivant :

- Identifier les solutions techniques permettant de répondre à la problématique d'îlot de chaleur urbain (ICU),
- Associer ces solutions à différentes typologies d'aménagement,
- Proposer des orientations d'aménagement, à la fois en lien avec le Plan Masse et le choix des matériaux.

La mission principale composant ce stage consistait à :

- Réaliser un diagnostic de l'existant, en identifiant les pratiques aggravantes ou au contraire bénéfiques vis-à-vis des îlots de chaleur urbains,
- Effectuer une recherche bibliographique sur les études déjà engagées sur ce thème :
 - Publications CEREMA,
 - Tests, retours d'expérience,
 - Réglementation,
 - Produits innovants,
- Construire un outil aidant le concepteur d'espaces publics à :
 - Penser les aménagements,
 - Décliner les propositions techniques selon les projets.

Outre cette mission, la volonté d'INGEROP était de proposer des missions complémentaires tout au long du stage permettant de participer aux activités de l'entreprise à toutes les étapes du projet d'aménagement. L'objectif étant de proposer des tâches qui soient valorisantes personnellement mais aussi bénéfiques pour l'entreprise.

INGEROP est un bureau d'étude technique, à ce titre, ses activités lors d'un projet suivent les réglementations de la loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée (loi MOP) décomposant le projet en missions et dont les missions de base sont les suivantes :

- Etudes d'esquisse (ESQ),
- Etudes de diagnostic (DIAG),
- Etudes d'avant-projet (AVP),
- Etudes de projet (PRO),
- Assistance pour la passation des contrats de travaux (ACT),
- Direction d'exécution des contrats de travaux (DET),
- Visa des études d'exécution (VISA),
- Assistance à la maîtrise d'ouvrage lors de la réception des travaux (AOR),

complétées par des missions complémentaires.

L'activité du service Ville de l'agence de Clermont-Ferrand dépend des offres et concours gagnés, notamment au moment du stage. Malheureusement, durant les premiers mois de stage, l'activité ne permettait pas de m'intégrer sur des projets et le stage se concentrat sur la constitution de l'outil méthodologique d'aide à l'intégration de la problématique des îlots de chaleur urbain.

6. Missions

Les missions proposées par le service Ville concernant les voiries et réseaux divers varient fortement d'un projet à l'autre et mobilisent des connaissances diverses allant de projets de mobilité, aux projets de gestion des eaux en passant par des aménagements extérieurs.

La liste non exhaustive des projets auxquels j'ai participé est proposée ci-après :

- Etudes d'AVP pour la construction d'une ZAC à Dompierre-sur-Besbre (03) sur un terrain agricole. La Maitrise d'ouvrage pour ce projet est l'intercommunalité Entr'Allier Besbre et Loire :
 - Participation à la réunion de lancement et d'avancement de l'AVP,
 - Visites de site
 - Participation à la rédaction des CR de réunion,
 - Participation à la rédaction de la note de justification des choix au stade AVP.
- Phase de concours pour le réaménagement du secteur Renoux-Ballainvilliers à Clermont-Ferrand proposé par Clermont Auvergne Métropole :
 - Visite de site,
 - Participation aux réunions internes avec les acteurs du groupement pour les propositions d'aménagement.
- Phase de DET pour le réaménagement de la place des Carmes et du parvis du siège mondial Michelin à Clermont-Ferrand pour Clermont Auvergne Métropole et Michelin (Maitrise d'ouvrage publique et privée) :
 - Visite de chantier,
 - Participation aux réunions de chantier.
- Etudes de faisabilité et d'AVP pour la gestion des eaux pluviales du Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives de Bruyères-le-Châtel. (Les missions relatives à ce projet seront détaillées au § 6.4).
- Etudes de faisabilité pour la réhabilitation de voirie dans le secteur de Gerzat / Clermont-Ferrand dans le cadre de l'Accord-cadre avec la métropole clermontoise et conformément au schéma directeur de cyclabilité.
 - Participation à la rédaction du mémoire technique,
 - (Encore en cours au moment de la rédaction du rapport de stage).

6.1. Outil d'aide à l'intégration de la problématique des ICU

6.1.1. Contexte de la mission

La mission proposée intervient dans un contexte de changement climatique global auxquels les collectivités sont de plus en plus sensibilisées. Lors des projets d'aménagement, les demandes des maitresses d'ouvrages proposent d'intégrer de plus en plus souvent des mesures d'adaptation ou d'atténuation des effets d'îlots de chaleur urbains. Avoir une connaissance fine du phénomène, de ces enjeux, de l'état actuel des connaissances sur le sujet et des solutions d'aménagement possibles permet une meilleure réponse aux attentes des collectivités sur le sujet.

L'intérêt du livrable est double :

- Il devrait permettre à la maitrise d'œuvre de justifier ses choix d'aménagement auprès de la maitrise d'ouvrage.

- Il devrait également permettre au concepteur du projet d'aménagement d'avoir un éclairage sur le phénomène d'ICU et sur les bonnes pratiques d'adaptation au changement climatique à mettre en place. Avec des idées de solutions techniques déjà mises en place et des retours d'expérience.

6.1.2. Les îlots de Chaleur Urbains (ICU)

6.1.2.1. Méthodologie de la recherche

La recherche portant sur les îlots de chaleur urbain a débuté par une recherche bibliographique longue et fournie permettant de mettre en lumière l'état des connaissances actuelles sur les ICU. Ces connaissances sur le phénomène sont récentes et parfois insuffisantes sur certains domaines (Figure 3).

Cette phase de recherche a mené à la création d'une base de données bibliographique (document excel) regroupant l'ensemble des publications et documents relatifs aux ICU par titre / auteur / thème / catégories / etc. avec un résumé succinct pour chaque document.

La base de données a également été alimentée par la base de données interne à INGEROP « Gnosis » regroupant un certain nombre de documents et retours d'expériences de projets de l'entreprise.

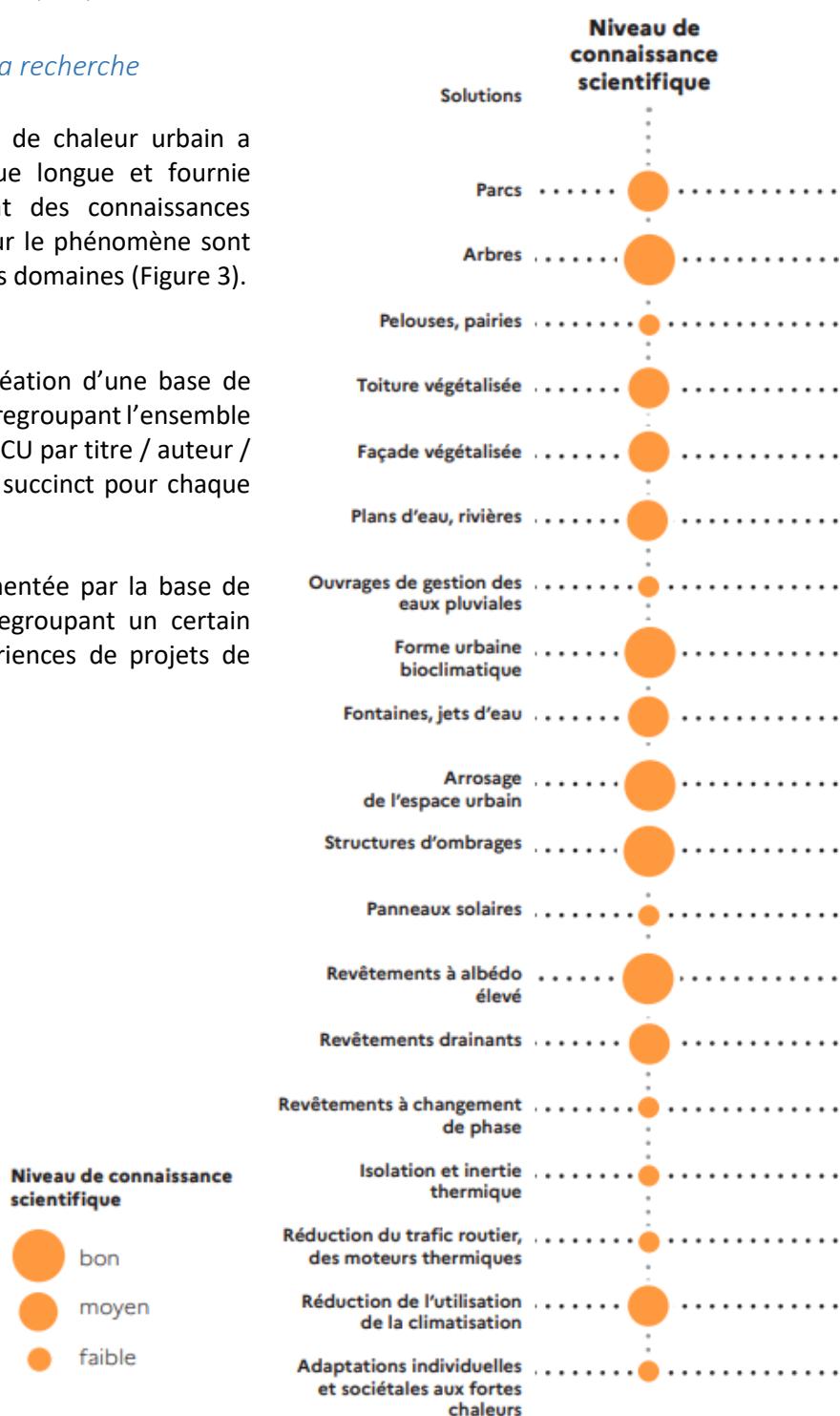


Figure 3 - Niveau de connaissance scientifique retenu selon le nombre d'études de cas identifiées et la concordance des résultats, source : ADEME (2021)

6.1.2.2. Présentation du phénomène

L'îlot de chaleur urbain est un phénomène qui se traduit par une **différence de température positive dans les villes entre le centre urbain et la périphérie** (Figure 4). Mis en évidence dès 1830 par L. Howard, son nom vient de la ressemblance entre les lignes isothermes en ville et le plan topographique d'une île (Rullier, 2012).

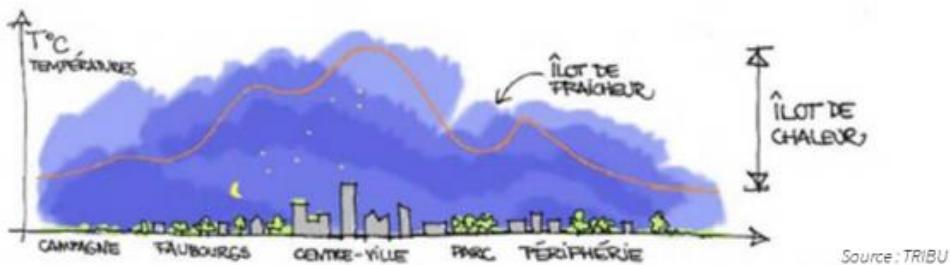


Figure 4 - Description du phénomène d'ICU, source : TRIBU

Avec 80,69 % de la population française qui habite en ville en 2020¹, les problématiques associées à ce phénomène concernent une large majorité de la population. Elles sont les conséquences directes de l'urbanisation du territoire et du changement climatique. L'intérêt relatif aux ICU est apparu à la suite des fortes **vagues de canicule en France pendant l'été 2003** qui ont entraîné une **surmortalité d'environ 15 000 personnes**, principalement en Ile-de-France (Figure 5). Dans l'agglomération clermontoise il s'est traduit localement par des différentiels de températures nocturnes forts avec 2,5°C d'écart entre le jardin Lecoq et Aulnat et surtout 8°C d'écart entre Montferrand et Aulnat (CEREMA, 2020). En effet, l'ICU est plus fort la nuit que le jour (Renou, 1862 ; Hammon et Duenchel, 1902). L'heure où l'intensité de l'ICU est maximum se situe après le coucher du soleil (Runnalls et Oke, 2000). La canicule de 2003 a fait prendre conscience de l'importance de traiter le phénomène qui **ne concerne pas seulement des problématiques de confort pour la population mais bien de santé publique**. La stratégie française dans la lutte contre le dérèglement climatique consiste principalement en **l'atténuation des sources** et des causes de ces changements. Cependant, même si elle est nécessaire, cette stratégie se révèle insuffisante pour contrer ses effets. **Une stratégie d'adaptation des projets au défi climatique** doit alors être mis en place. Cette stratégie d'adaptation passe par certains leviers pour l'aménageur de prise en compte du phénomène pour adapter les solutions retenues. Elle nécessite donc une bonne connaissance des causes et caractéristiques de l'îlot de chaleur urbain.

¹ Statista 2021.

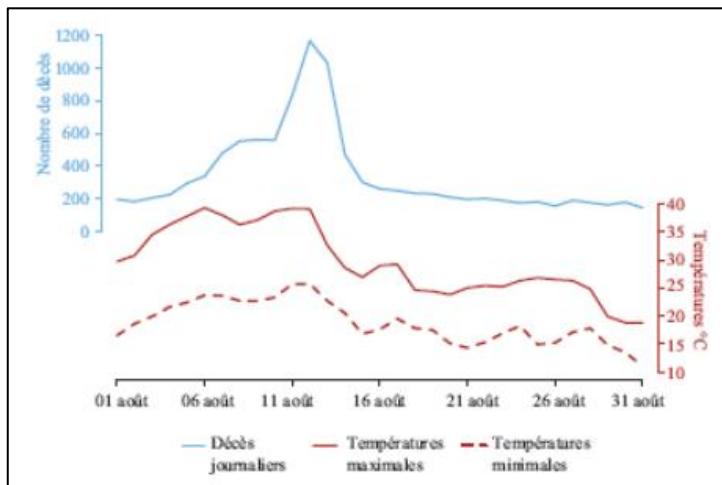


Figure 5 - Décès journaliers et températures en Ile-de-France en août 2003, source : ORS (2009).

On distingue principalement deux types de causes à l'ICU (Figure 6). La première concerne des variables dites incontrôlables telles que l'intensité du rayonnement solaire ou toutes variables climatiques qui vont conditionner la force du phénomène d'îlot de chaleur. Le deuxième type fait référence à toutes les actions d'origine humaine (anthropique) qui vont venir renforcer localement la température et accentuer l'ICU. On peut les classer en 5 catégories :

- Les **propriétés thermiques des matériaux** utilisés en ville,
- La **morphologie urbaine**, relative à la forme et à l'ordonnancement des bâtiments et infrastructures,
- La **présence de la végétation** et sa densité à l'échelle locale comme à l'échelle de la ville,
- L'importance des **sources de chaleur** d'origine anthropique,
- La **présence de l'eau** en ville, sous quelle forme et en quelle quantité.

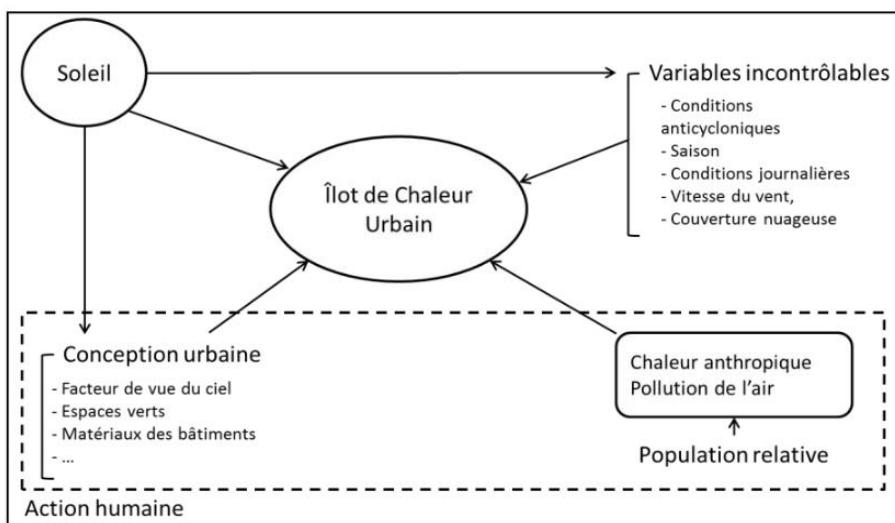


Figure 6 - Synthèse des causes de formation de l'ICU, source : Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain, ADEME (2012)

6.1.2.3. Outils de diagnostic et d'aide

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain est encore l'un des aspects méconnus des conséquences des actions de l'aménagement sur le territoire. Pourtant, intégrer la problématique

d'adaptation des projets à la surchauffe urbaine semble primordial vu les enjeux identifiés. Certains organismes comme l'ADEME ou CEREMA fournissent un certain nombre de guides de recommandations, la plupart du temps destinés aux collectivités et MOA, afin de pouvoir mieux comprendre le phénomène et proposer des aménagements en conséquence. La connaissance à elle seule du phénomène n'est pas suffisante pour identifier clairement et spatialiser les îlots de chaleur urbains sur le territoire. **Un diagnostic est alors nécessaire pour quantifier le phénomène.** Ces diagnostics peuvent en réalité avoir 2 intérêts, en amont d'un projet, ils **permettent d'évaluer l'intensité de l'ICU** et éventuellement en identifier la cause. Ils permettent de situer certaines zones plus sensibles et vulnérables localement, d'évaluer le confort thermique et sont un moyen efficace de sensibiliser la population. Après un projet, ils vont permettre de **mesurer l'efficacité et l'impact du projet sur son environnement**, offrant aussi un bon support de communication. Dans l'absolu, réaliser ces 2 diagnostics permet une prise en compte efficace du phénomène et un retour d'expérience utile et nécessaire.

Deux types d'approches sont envisageables selon les territoires pour effectuer un diagnostic :

- En se basant sur des **mesures**, l'approche expérimentale de prise de mesures sur le terrain va permettre d'obtenir avec précision les valeurs des **variables climatiques** urbaines sur une période donnée, on mesure alors la température, vitesse et l'humidité de l'air, les températures de surface, le confort thermique en mesurant l'intensité des rayonnements solaires afin d'obtenir des indicateurs pour **le ressenti thermique** avec des prises de mesure de température d'air, de températures de surfaces et de prise de mesure qualitative.
- En se basant sur des **modèles**, la prise en considération des **caractéristiques de topographie, morphologie urbaine et de l'environnement du territoire** vont permettre d'évaluer au travers de **simulations, d'interpolation et d'extrapolation des prises de mesure** sur le territoire, la surchauffe urbaine avec une cartographie des îlots de chaleur urbain.

Dans la plupart des cas, le diagnostic du territoire se compose d'une combinaison de ces 2 approches. Sachant que les mesures permettent de calibrer les modèles et les modèles servent à expliciter les mesures.

En 2017, l'ADEME, en partenariat avec le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire a publié un recueil des méthodes utilisées en phase de diagnostic avec leur intérêt et leur limite pour caractériser l'îlot de chaleur urbain. Intitulé : *Diagnostique de la surchauffe urbaine, Méthodes et applications territoriales*.

6.1.3. Leviers d'action contre les ICU

Pour l'aménageur, la lutte contre les ICU passe par des **mesures d'adaptations des projets à la surchauffe urbaine**. Plusieurs leviers d'actions sont alors identifiés ainsi que les conditions de leur mise en place, les co-bénéfices associées et les éventuelles externalités négatives. Ces leviers d'actions sont ensuite déclinés en **solutions d'aménagement** qui peuvent être mis en place selon les typologies d'espaces à aménager. Lors des projets d'aménagement, plusieurs de ces solutions sont généralement mises en place et chacune interagit différemment avec les autres solutions de sorte qu'elles peuvent **annuler leur intérêt vis-à-vis du phénomène ou au contraire, la combinaison de plusieurs aménagements peut démultiplier leur action** en faveur de la lutte contre les ICU. La réflexion autour des mesures de lutte contre les ICU doit prendre en compte **l'environnement du projet, son plan masse et l'ensemble solutions envisageables**.

6.1.3.1. Propriétés thermiques des matériaux

Les propriétés thermiques des matériaux jouent un rôle important dans l'adaptation des projets aux effets d'ICU. Les bonnes pratiques liées à l'utilisation judicieuse de ces propriétés constituent un levier important de lutte contre le phénomène. La première propriété et celle qui constitue le levier le plus important sur les températures de surface est l'albédo qui se définit comme la capacité d'une surface terrestre hétérogène (Bouyer, 2009) à réfléchir les rayons solaires. Il représente la **capacité d'un matériau à réfléchir les rayonnements solaires et donc à ne pas en absorber la chaleur** (Figure 7), il s'agit d'un coefficient allant de 0 à 1². L'albédo des matériaux va avoir un impact significatif sur l'effet d'ICU. En règle générale, **plus la couleur d'un matériau est claire et plus son albédo sera proche de 1**.

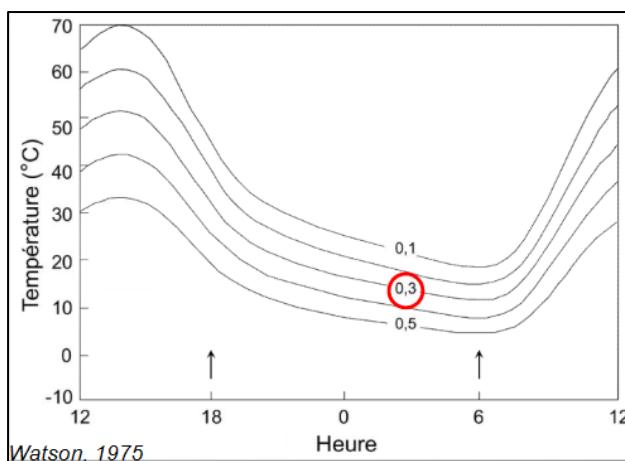


Figure 7 – Influence de l'albédo sur les températures de surface selon l'heure de la journée, source : K. Watson (1975)

L'émissivité thermique et l'inertie thermique d'un matériau représentent respectivement la capacité du matériau à réémettre sa chaleur sous forme de rayonnement infrarouge et sa capacité à différer dans le temps cette émission de chaleur. L'effet de ces propriétés sur la température est bien moins important que celui de l'albédo (Figure 8) mais est très intéressant pour comprendre les différences de température liées aux ICU la nuit.

² 0 correspond à une absorption totale des rayonnements solaires et 1 à une réflexion totale de ces rayonnements.

Surface de la toiture	Albédo	Emissivité	Elévation de la température (°C)
EPDM - noir	0,06	0,86	46
EPDM - blanc	0,69	0,87	14
TPO - blanc	0,83	0,92	6
Bitume - surface lisse	0,06	0,86	46
Bitume - granulés blancs	0,26	0,92	35
Multi - gravier sombre	0,12	0,9	42
Multi - gravier clair	0,34	0,9	32
Bardeaux - granulés noirs génériques	0,05	0,91	46
Bardeaux - granulés blancs génériques	0,25	0,91	36
Bardeaux - revêtement élastomère blanc	0,71	0,91	12
Bardeaux - revêtement en aluminium	0,54	0,42	28
Acier - neuf, nu, galvanisé	0,61	0,04	31
Aluminium	0,61	0,25	27
Aluminium - revêtement blanc	0,59	0,85	21

Figure 8 - Caractéristiques de surface des matériaux de toiture les plus communs, source : H.Liu (2005).

6.1.3.2. Morphologie urbaine

La prise en compte de la morphologie urbaine dans les projets d'aménagement peut constituer un second levier très important dans la lutte contre les îlots de chaleur urbains. On entend par morphologie urbaine tout ce qui concerne **la position des bâtiments et des aménagements, leurs orientations ainsi que leurs dimensions** (hauteur, emprise au sol, largeur de rue, etc). La difficulté de la prise en compte de la morphologie urbaine dans les projets d'aménagement réside dans le fait que ces projets s'intègrent déjà dans un cadre bâti et le plan masse n'est pas nécessairement libre. Cependant connaître les principes permettant d'éviter d'accentuer l'ICU écartera les mauvaises pratiques. Deux phénomènes à l'échelle du projet peuvent s'avérer particulièrement néfastes s'ils ne sont pas pris en compte : **la non-circulation de l'air dans les villes, qui n'évacue alors plus la chaleur accentuant la surchauffe urbaine** ; et **l'effet canyon qui consiste à piéger les rayonnements solaires par réflexion sur les parois de façades de bâtiments dans les rues**, augmentant ainsi la température.

En janvier 2018, l'article « Role of city texture in urban heat islands at night time » (J.M. Sobstyl & al, 2018) compare une cinquantaine de villes (notamment Nord-Américaines) et conclue que **plus le tissu urbain est organisé, avec des rues très rectilignes et un plan en damier** (comme pour New-York par exemple) **et plus la chaleur est piégée**, puisque les bâtiments échangent plus d'énergie entre eux augmentant l'inertie et donc le rayonnement la nuit, **accentuant l'ICU**. Contrairement aux tissus plus sinuieux tels que **les coeurs de ville historiques dans lesquels la chaleur s'évacue plus facilement**. Le tissu urbain fait alors varier les effets des îlots de chaleur urbains.

6.1.3.3. Présence de végétation

La présence de végétation intégrée au projet et en quantité suffisante **permet d'agir fortement sur la température de l'air** ambiant au travers de **l'évapotranspiration** et de réduire les températures de surface grâce à **l'ombrage** des canopées végétales. La végétation possède également un grand nombre de co-bénéfices associés :

- Elle favorise la **biodiversité** locale en fournissant un habitat et des ressources pour la faune,
- Elle permet d'améliorer l'**infiltration de l'eau** dans les sols,

- La végétation améliore le **confort et la santé physique et mentale** des habitants alentours,
- Elle permet aussi également d'améliorer la **qualité de l'air**.

Certains de ces co-bénéfices ne sont cependant significatifs que lorsque la végétation prend certaines formes et que la quantité de végétaux présents est en nombre suffisant, de telle sorte que :

- **Plus la surface des espaces réservée à la végétation est importante et plus la richesse spécifique est élevée,**
- On retrouve au sein des espaces végétalisés les plus importants le plus grand nombre des espèces spécialisées les plus fragiles
- De façon générale, **plus le maillage végétal est important et dense, et plus les bienfaits associés seront importants** (CEREMA, 2015). Les espaces verts **en pleine terre** sont à privilégier.

Il semble alors être intéressant de favoriser les corridors écologiques et la mise en place d'une trame verte sur le territoire lorsque cela est possible.

Afin d'être favorable à un maximum d'espèces animales, les espaces de natures devront constituer dans la mesure du possible, **une strate herbacée, une strate arbustive et une strate arborescente**. Le choix des essences va aussi avoir un impact sur la qualité de la végétation du projet. En 1997, dans *Végétalisation des espaces dégradés en altitude*, F. Dinger propose, pour « favoriser le retour à une plus grande biodiversité et stabilité des milieux réhabilités », des « recommandations nouvelles pour [...] l'introduction d'espèces végétales locales dans les mélanges de semences », en privilégiant les espèces colonisatrices indigènes. Donc des espèces végétales **locales** avec un fort taux de reproduction qui ne nécessitent pas l'intervention de l'homme pour couvrir l'espace.

Le terme « local » est assez vague et peut représenter plusieurs idées puisqu'il n'y a pas de caractère réglementaire pour encadrer ce qui est local. On peut parler de **variétés locales anciennes** lorsqu'il y a eu une sélection des variétés à planter, d'origine humaine, sur le territoire géographique. Les **espèces indigènes** qui croissent naturellement sur le territoire sans avoir été introduites et le **végétal local prélevé** près du lieu d'aménagement ou sur un site avec des conditions climatiques et écologiques proches de celles du territoire. L'utilisation d'espèces locales et diversifiées dans les projets d'aménagement peut permettre de favoriser l'adaptation des végétaux sur le territoire et de limiter les risques de propagations de maladies sur les végétaux tout en privilégiant des filières locales qui valorisent l'économie régionale.

6.1.3.4. Chaleur anthropique

Entre 15 et 20 % de l'énergie, échangée sous forme de chaleur, est émise en ville par différentes sources de chaleur anthropique. On définit cette chaleur anthropique comme celle **émise par toutes sortes d'activités humaines**. Elle influence de façon très localisée le phénomène d'îlot de chaleur urbain mais peut faire fortement varier les températures (Figure 9).

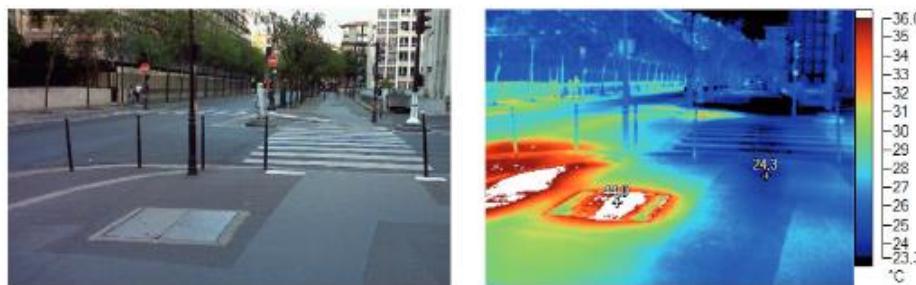
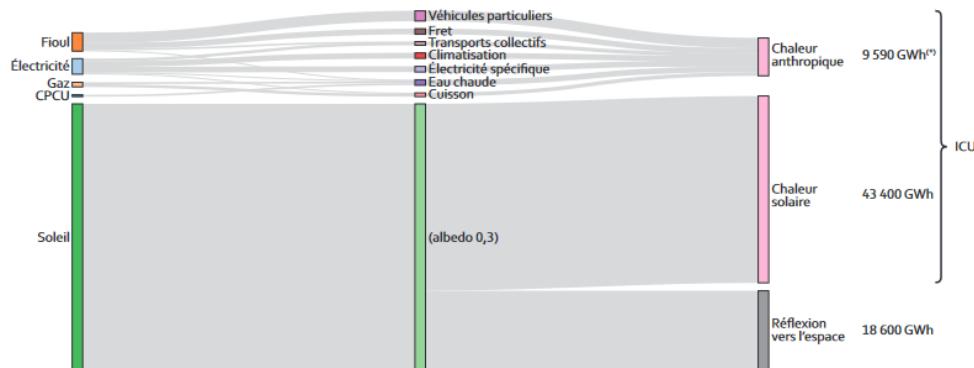


Figure 9 - Impact du chauffage sur l'ICU dans l'espace public, source : APUR (2012).

Les sources de chaleur anthropique en ville sont nombreuses, de nature différente et influencent plus ou moins la température en ville. On peut citer comme exemple de source de chaleur les véhicules individuels, les climatiseurs en été, l'éclairage public, les besoins des bâtiments, etc. (Figure 10) Même si toutes les mesures d'atténuation du phénomène d'ICU sont bonnes à prendre, 2 sources de chaleur anthropiques seront prises principalement en compte dans les projets d'aménagement. La voiture individuelle à cause de son impact important sur la chaleur mais aussi sur la pollution des villes, et le climatiseur pour son recours de plus en plus systématique et son rejet de chaleur vers l'extérieur important (Figure 11).



(*) GWh (pour « Giga Watt heure ») est une quantité d'énergie. Une ampoule de 100 Watts qui fonctionne pendant 10 heures consomme 1 kWh (pour « kilo Watt heure »). 1 GWh c'est 1 million de kWh.

Source : CEREN (2011)

Figure 10 - Bilan énergétique du territoire parisien entre mai et septembre 2009, source : CEREN (2011).

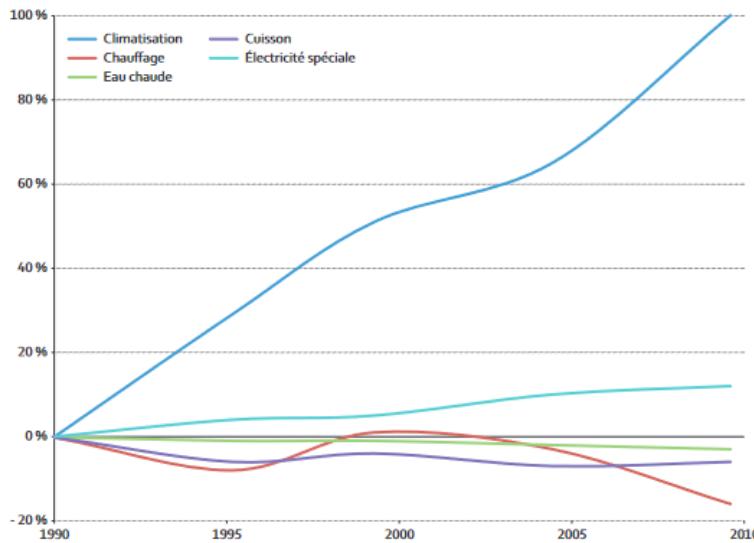


Figure 11 - Evolution des consommations d'énergie des commerces parisiens de 1990 à 2009, source : CEREN (2011)

6.1.3.5. Présence d'eau

Finalement, l'eau constitue un dernier levier de lutte contre les îlots de chaleur urbain. De nombreuses typologies d'espaces et de mobilier urbains peuvent induire la présence de l'eau en ville : espaces naturels (lac, rivière, etc.), fontainerie ou aménagements de gestion des eaux de pluie. Ces aménagements ont des effets différents sur la lutte contre les ICU et la perception que les gens ont des îlots de fraîcheur. Le potentiel de rafraîchissement des aménagements d'eau à surface libre est

assez limité, l'évaporation de l'eau va **augmenter l'humidité de l'air et refroidir légèrement l'espace alentour** lorsque la surface d'eau est suffisante. La **brumisation va augmenter assez significativement la sensation de fraîcheur**. Ils peuvent aussi agir de façon plus directe sur le confort thermique de la population qui traverse ces espaces. En constituant un point d'eau potable par exemple, ou de baignade dans certains cas. Une autre manière de contribuer à réduire l'effet d'ICU en ville consiste à **arroser les voies lors de périodes de forte chaleur** afin de réduire les températures de surface (Figure 12). Des études menées par Véolia ont notamment permis de montrer une **réduction de la température de chaussées de 5°C**.

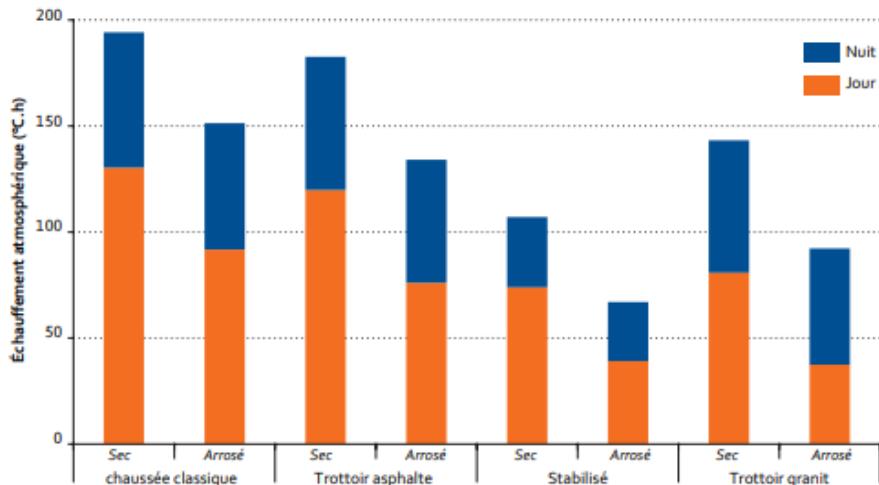


Figure 12 - Contribution à l'échauffement atmosphérique du revêtement avec et sans arrosage, source : APUR.

6.1.4. Conclusion et synthèse des bonnes pratiques

Le phénomène d'îlots de chaleur urbain, bien qu'encore trop méconnu, peut être combattu au travers de différentes mesures **d'atténuation et d'adaptation des projets aux fortes chaleurs**. Chaque levier que l'on a pu identifier ici comporte des avantages mais aussi des inconvénients. Il semble **très difficile de quantifier l'efficacité d'une mesure** sur la diminution de la chaleur en ville pour plusieurs raisons :

- Parce que la température des **villes dépend de variables climatiques locales** et donc les effets des mesures peuvent s'avérer très différents d'un endroit à l'autre,
- Parce que diminuer l'intensité des ICU ne signifie pas toujours diminuer le stress thermique subit par la population dans certaines situations. Et donc que le **choix des indicateurs** doit se faire de façon pertinente en fonction du projet.
- Parce qu'elle **dépend aussi fortement du plan masse et de la morphologie de la ville**, la majorité des leviers viennent s'appuyer sur des typologies d'espaces existants en ville.

Les REX fournissent une base de connaissances quantifiées des conséquences des aménagements sur la température extérieure en ville et permettent de comparer directement les mesures prises avec les températures avant le projet (en moyenne puisque les variables climatiques ne sont pas identiques) mais aussi par rapport à la température à la périphérie de la ville. En 2017, l'ADEME s'est appuyée sur un certain nombre de REX pour établir un **ordre de grandeur du**

refroidissement moyen journalier de l'air de solutions d'aménagement (vertes, grises ou douces). La figure (Figure 13) a été établie à partir de la méta-analyse de Santamouris et al. en 2017.

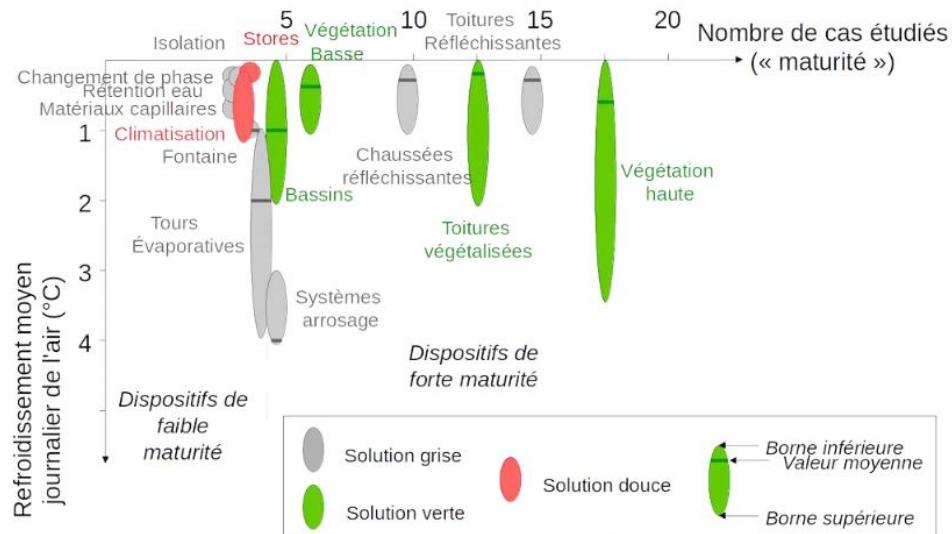


Figure 13 - Ordre de grandeur du refroidissement moyen journalier de l'air occasionné par un dispositif en regard de sa maturité, source : ADEME (2017).

La figure montre surtout l'**efficacité des mesures de solution grises et vertes** mais attention tout de même, les comparaisons des REX, inégales entre plusieurs dispositifs, ne sont peut-être pas comparables dans leurs ambitions de réduction des ICU ou dans l'application et la bonne utilisation des dispositifs choisis.

La conclusion est alors que la **mise en place de dispositifs d'atténuation et d'adaptation des projets aux ICU doit se faire selon des bonnes pratiques par typologie d'espace et en prenant en compte les avantages et inconvénients de chaque dispositif**. Il sera alors possible de comparer les pratiques entre elles pour sélectionner les plus pertinentes sans pour autant quantifier précisément l'impact de la mesure sur la température.

6.2. Présentation de l'outil méthodologique

A la vue de la conclusion de ce livrable, l'outil méthodologique pour l'aide à la prise en compte des îlots de chaleur urbain pour le concepteur lors de projets d'aménagement consiste à réaliser un tableau comparatif synthétisant les solutions d'aménagement par typologie d'espace³ (Annexe).

6 types d'espaces ont été identifiés en ville pour accueillir des solutions d'aménagement permettant de lutter contre les ICU :

- La rue étroite,
- La voie large,
- La place,
- Les parcs et jardins,
- Les parkings,

³ La construction de l'outil s'appuie exclusivement sur les recherches bibliographiques réalisées lors de ce stage et les valeurs d'efficacité des solutions dépendent des concepts théoriques ou de simulations et pas d'expérimentations précises.

- Les toitures.

L'outil présente donc les caractéristiques physiques et géométriques de la typologie d'espace puis l'efficacité des solutions d'aménagement selon plusieurs variables avec un indicateur subjectif d'efficacité allant de négligeable à élevée.

Les variables retenues peuvent être divisées en 2 catégories, les variables relatives à la lutte contre les îlots de chaleur urbain :

- Effet sur le confort thermique,
- Effet sur la température de surface à l'échelle de la ville,
- Effet sur la température de surface ;

Et des variables représentant les co-bénéfices :

- Effet sur les consommations énergétiques des bâtiments,
- Impact sur la biodiversité,
- Coût,
- Effet sur le bien-être et la santé.

L'outil pointe aussi les externalités ou contraintes relatives aux solutions.

6.3. Conclusion

Le livrable a un intérêt pour l'aménageur pour lui permettre, d'une part d'évaluer les bonnes pratiques et d'avoir un regard critique sur les solutions d'aménagement proposées concernant les îlots de chaleur urbains, et d'autre part pour justifier auprès de la maîtrise d'ouvrage l'intérêt porté par la maîtrise d'œuvre et sa sensibilité à la problématique. La version longue est plus détaillée du livrable autorise de reprendre directement des éléments explicatifs et justificatifs de phénomènes ou de solutions alors que les fiches par typologie d'espace, plus synthétiques, permettent de visualiser rapidement des solutions envisageables, leurs avantages et inconvénients en fonction du plan masse du projet.

Ce travail sur les îlots de chaleur mènera à une restitution orale interne à INGEROP.

6.4. Gestion des eaux pluviales du CEA

Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) de Bruyères-le-Châtel a missionné INGEROP pour la gestion des eaux pluviales sur son site. Les affaires liées au CEA étant classées DR (Diffusion Restreinte) ou CD (Confidentiel Défense), il ne pourra être fait mention de tout élément permettant d'identifier précisément le site. Incluant plans, noms de bâtiments et extraits de documents.

6.4.1. Contexte de l'étude

L'étude consiste à assurer la gestion des eaux pluviales du CEA pour son bassin versant Ouest, en effet, le dimensionnement du réseau d'eau pluviale ne permet pas d'évacuer les eaux au-delà d'une certaine occurrence de pluie sans submerger une galerie technique voisine et qui accueille des réseaux secs (HT, BT, etc.) occasionnant de lourds dégâts. De plus, l'implantation d'un nouveau bâtiment oblige à redimensionner le réseau pour évacuer ses eaux pluviales.

L'étude se compose alors en deux parties :

- Une première étude sur le dimensionnement du réseau et des ouvrages pour la réhabilitation des canalisations d'eaux pluviales en aval de la galerie. Le planning pour

cette mission prévoit la remise des études au stade d'AVP (avant-projet) lors de la fin de ce stage.

- La deuxième partie de l'étude propose de regarder la possibilité de solutions d'infiltration pour gérer les eaux pluviales sur site avec des techniques de gestion alternatives des eaux pluviales. Le planning pour cette mission prévoit la remise des études de faisabilité lors de la fin de ce stage.

Après une visite sur site lors de la réunion de lancement du projet, la première mission avant toute mission d'AVP ou de faisabilité consistait à s'imprégner des données d'entrée fournies par la maîtrise d'ouvrage. Conduisant à la rédaction du catalogue méthodique (regroupant l'ensemble des livrables à fournir tout au long du projet ainsi que leur codification et date d'envoi), du planning détaillé pour chaque poste et de la note d'hypothèses et d'analyse des données d'entrée. Cette note regroupe l'interprétation des données d'entrée par la maîtrise d'œuvre et l'ensemble des interrogations relevées par la maîtrise d'œuvre à la vue de ces données. Les réponses à ces interrogations ont été fournies par la maîtrise d'ouvrage lors de réunion d'avancement suivante.

6.4.2. Etudes d'AVP pour la réhabilitation de canalisation

La mission d'étude AVP s'intègre dans une première phase de projet de réhabilitation de la canalisation d'eau pluviale sur un tronçon de 150 m de long. La mission consiste à proposer plusieurs solutions techniques permettant la collecte et la régulation des eaux pluviales.

Une étude capacitaire des réseaux a été fournie dans les données d'entrée et pointe le sous-dimensionnement des canalisations en amont de la galerie. L'ajout d'un nouveau bâtiment en amont risque d'aggraver encore la situation et des solutions pour réhabiliter les canalisations ou de rétention puis de rejet à débit limité sont donc indispensables.

Les solutions étudiées pour réguler les eaux pluviales en amont de la galerie sont donc :

- Un ouvrage de rétention puis de rejet à débit limité des eaux de pluie dans les canalisations,
- Une réhabilitation et un redimensionnement des canalisations en amont permettant d'accueillir un débit d'eau nécessaire.

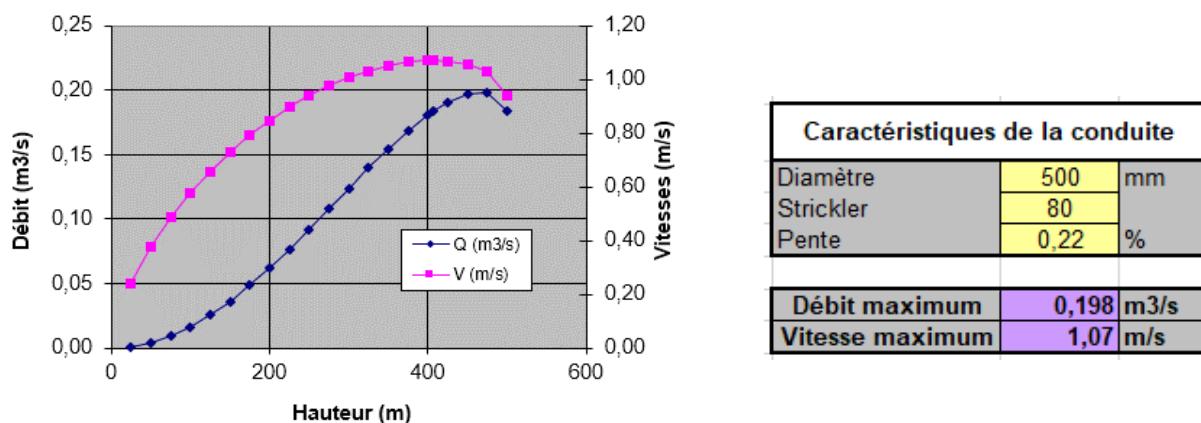
6.4.2.1. Hypothèses et dimensionnement des ouvrages de rétention

L'ouvrage de rétention à dimensionner devra permettre de retenir les eaux pluviales et de les rejeter à débit limité. Le bassin versant étudié pour la rétention est composé de plusieurs sous-bassins versants dont les caractéristiques sont les suivantes :

Bassin versant	Aire (ha)	Surface (m ²)	Coeff. de ruissellement	C * s	46	0,017	170	92	156
BV batiment1	0,1646	1 646	95	1 564	47	0,017	170	95	162
1	0,023	230	72	166	48	0,034	340	55	187
2	0,026	260	67	174	49	0,006	60	95	57
3	0,029	290	75	218	50	0,012	120	95	114
4	0,02	200	67	134	51	0,01	100	67	67
5	0,022	220	70	154	65	0,108	1 080	92	994
6	0,01	100	87	87	66	0,028	280	95	266
7	0,007	70	95	67	67	0,088	880	95	836
8	0,074	740	70	518	68	0,038	380	95	361
9	0,028	280	95	266	69	0,015	150	66	99
10	0,036	360	77	277	70	0,037	370	95	352
11	0,014	140	69	97	71	0,012	120	95	114
12	0,392	3 920	53	2 078	72	0,009	90	95	86
13	0,068	680	95	646	74	0,054	540	65	351
14	0,018	180	52	94	75	0	0	0	0
15	0,026	260	95	247	76	0	0	0	0
16	0,01	100	95	95	78	0,189	1 890	43	813
17	0,021	210	95	200	79	0,038	380	15	57
18	0	0	95	0	80	0	0	0	0
19	0,142	1 420	63	895	83	0,122	1 220	27	329
Total					Total	1,9646	19 646	68	13 373

Ces bassins versants ont été choisis spécifiquement puisque les eaux pluviales sur ceux-ci se rejettent directement dans les regards de la canalisation amont objet de l'étude.

Le débit de fuite pour le bassin de rétention doit être déterminé par la capacité maximale d'une conduite de diamètre 500mm et selon la pente la plus faible. Le rapport capacitaire indique que cette pente est de 0,22%. Le débit pour cette canalisation sera estimé à l'aide de la formule de Manning/Strickler :



De ce débit (0,198 m³/s) doivent être déduits des débits constants qui ne peuvent pas être estimés par la méthode des pluies. Le débit de fuite final est donc évalué à 161 L/s.

La particularité du projet réside dans les hypothèses de dimensionnement du bâtiment et du bassin versant. Les différentes normes imposent de dimensionner la gestion des eaux pluviales du bâtiment pour des pluies d'occurrence 100 ans alors que le reste du bassin versant est dimensionné pour 20 ans. Les débits de fuite seront donc déterminés proportionnellement à la surface du bassin versant correspondant. Les coefficients de Montana associés sont les suivants :

- Pour 100 ans : a = 741 et b = 0,662,
- Pour 20 ans : a = 509 et b = 0,678.

Le BV du bâtiment a donc une surface active de 1 564 m² pour un débit de fuite de 19 L/s et le BV restant a une surface active de 11 809 m² pour un débit de fuite de 142 L/s.

Ces données permettent de calculer l'intensité des pluies (en mm/h) pour les occurrences choisies et pour chaque scénario avec la formule suivante :

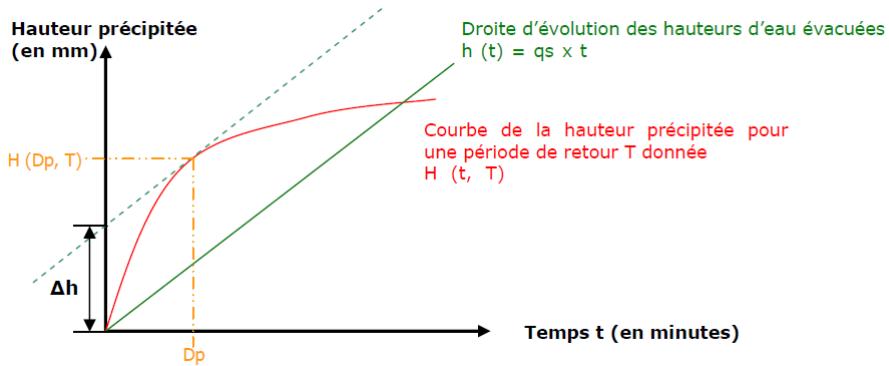
$$i(t) = a * t^{-b}$$

Avec :

i(t) l'intensité de la pluie en fonction du temps,
a et b les coefficients de Montana,
t la durée de la pluie considérée.

La méthode des pluies va ensuite servir à calculer le volume nécessaire à l'ouvrage pour contenir les pluies dont l'intensité a été calculée.

Le volume à stocker se détermine de la façon suivante :



Le volume de l'ouvrage est celui nécessaire pour contenir le volume d'eau maximum entre celui arrivant (pluie) et le débit maximal sortant de l'ouvrage. La méthode des pluies consiste à représenter graphiquement ces hauteurs d'eau. La différence entre les 2 hauteurs est égale au volume recherché.

$$Vs = (\text{Hauteur d'eau tombant sur le projet} - \text{Hauteur d'eau de fuite}) * \text{Surface du projet} * \text{coefficient d'unité}$$

$$\text{Soit : } Vs = \Delta h * Sa * 10$$

Le volume à stocker est calculé pour une pluie dont la durée est au moins égale à 6 minutes (domaine de validité des coefficients de Montana).

Le volume ainsi obtenu est multiplié par un coefficient de sécurité égal à 1,2.

On obtient alors :

- Pour le BV du bâtiment : un volume de 31,30 m³ pour une pluie centennale de 14min,
- Pour le BV restant : un volume de 127,80 m³ pour une pluie vicennale de 7min.

Durée de la pluie (min)	Volume à stocker (m ³)		
	BV01		Total
	100 ans	20 ans	
1	18,2	91,7	109,8
2	22,2	108,2	130,3
3	24,6	117,1	141,7
4	26,3	122,4	148,8
5	27,6	125,6	153,2
6	28,6	127,2	155,9
7	29,4	127,8	157,2
8	30,0	127,5	157,5
9	30,4	126,5	157,0
10	30,8	125,0	155,8
11	31,0	123,1	154,1
12	31,2	120,7	151,9
13	31,3	118,0	149,3
14	31,3	115,0	146,3
15	31,3	111,7	143,0
16	31,2	108,2	139,5
17	31,1	104,5	135,7
18	31,0	100,6	131,6
19	30,8	96,6	127,4
20	30,6	92,4	123,0

Puisque les durées de pluie sont différentes, il est nécessaire de regarder minute par minute les volumes de rétention pour déterminer le volume maximal. Celui-ci est atteint pour une pluie de 8 min et un volume de 157,5 m³.

L'ouvrage de rétention devra donc permettre de retenir un volume d'environ **160 m³**.

6.4.2.2. Hypothèses et dimensionnement de la réhabilitation de la canalisation

Les caractéristiques du réseau d'eau pluvial en amont de la galerie sont les suivantes :

Tronçon	Collecteur	Fe Départ	Fe Arrivée	Linéaire (ml)	Pente	Tronçon	Débit (m3/s)
R22 - R28	Ø 500	89,00	88,59	34	1,21%	R22 - R28	0,677
R28 - R34	Ø 500	88,57	88,52	3	1,67%	R28 - R34	0,812
R34 - R35	Ø 500	87,33	87,27	9	0,67%	R34 - R35	0,822
R35 - R36	Ø 500	87,27	87,20	14	0,50%	R35 - R36	0,822
R36 - R37	Ø 500	87,20	87,15	30	0,17%	R36 - R37	0,893
R37 - R38	Ø 500	87,15	87,08	2	3,50%	R37 - R38	0,893
R38 - R39	Ø 500	87,08	85,82	34	3,71%	R38 - R39	0,893
R39 - R41	Ø 500	85,76	84,94	22	3,71%	R39 - R41	0,893
R41 - R42	Ø 500	84,94	84,84	6	1,81%	R41 - R42	0,893

La proposition d'aménagement consiste à jouer sur les diamètres et les pentes des canalisations pour obtenir une capacité dans les conduites supérieure au débit calculé précédemment.

La capacité des conduites est évaluée à l'aide de la formule de Manning/Strickler :

$$Q = K * Rh^{\frac{2}{3}} * p^{\frac{1}{2}} * Sm$$

Les résultats des nouvelles pentes et des nouveaux diamètres sont donnés ci-dessous :

Tronçon	Collecteur	Pente	Fe Départ	Fe Arrivée	Capacité (m3/s)	Débit (m3/s)
R22 - R28	Ø 500	3,90%	89,00	87,67	0,833	0,677
R28 - R34	Ø 500	3,90%	87,67	87,56	0,833	0,812
R34 - R35	Ø 600	1,95%	87,56	87,38	0,958	0,822
R35 - R36	Ø 600	1,95%	87,38	87,11	0,958	0,822
R36 - R37	Ø 600	1,95%	87,11	86,52	0,958	0,893
R37 - R38	Ø 600	1,95%	86,52	86,48	0,958	0,893
R38 - R39	Ø 600	1,95%	86,48	85,82	0,958	0,893

6.4.3. Etude de faisabilité pour la gestion alternative des eaux pluviales

La mission d'étude de faisabilité pour la gestion alternative des eaux pluviales des extensions de bâtiment s'intègre dans une 2^{ème} phase de projet. La mission consiste (sur la base des données d'entrée) à étudier les solutions envisageables, à dimensionner les ouvrages d'infiltration et à en faire une analyse comparative.

Le dimensionnement des ouvrages se fera en fonction des quantités d'eaux pluviales ruisselant sur la surface nouvellement imperméabilisée par l'implantation des extensions de bâtiment pour des occurrences de pluies centennales et vicennales.

6.4.3.1. Hypothèses de dimensionnement des ouvrages de rétention

La surface des extensions de bâtiment retenue pour le dimensionnement des ouvrages est de 1372 m². Cette surface étant imperméable, le coefficient de ruissellement retenu pour cette surface

est de 0,95. La surface active s'obtient en multipliant la surface brute du bassin versant avec le coefficient de ruissellement. On a ainsi : $S_a = 1\ 372 \times 0,95 = 1\ 303 \text{ m}^2$. Cette surface est majorée de 20% compte tenu des incertitudes relatives aux aménagements extérieurs. Soit $S_a = 1629 \text{ m}^2$.

Les données d'entrée fournissent également les données suivantes :

- Perméabilité : $K = 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$,
- Hauteur de nappe comprise entre 2.45 et 3.20 m,
- Coefficients de montana :
 - Pour des occurrences de 20 ans : $a = 509$ et $b = 0.678$,
 - Pour des occurrences de 100 ans : $a = 741$ et $b = 0.662$.

Ces données permettent de calculer l'intensité des pluies (en mm/h) pour les occurrences choisies et pour chaque scénario avec la formule suivante :

$$i(t) = a * t^{-b}$$

Avec :

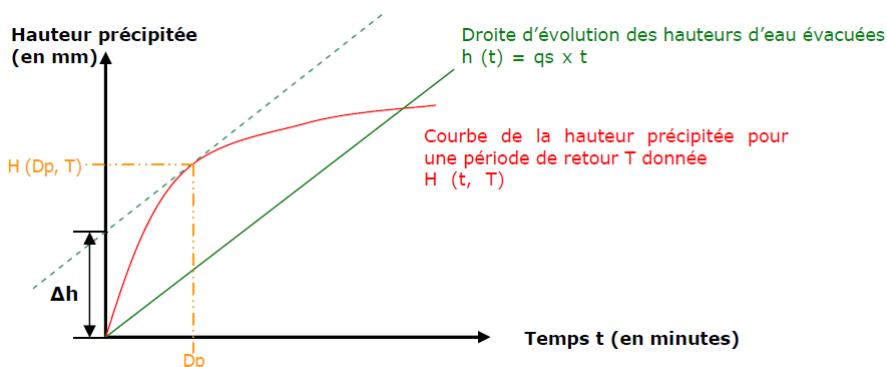
$i(t)$ l'intensité de la pluie en fonction du temps,

a et b les coefficients de Montana,

t la durée de la pluie considérée.

La méthode des pluies va ensuite servir à calculer le volume nécessaire à l'ouvrage pour contenir les pluies dont l'intensité a été calculée.

Le volume à stocker se détermine de la façon suivante :



Le volume de l'ouvrage est celui nécessaire pour contenir le volume d'eau maximum entre celui arrivant (pluie) et le débit maximal sortant de l'ouvrage. La méthode des pluies consiste à représenter graphiquement ces hauteurs d'eau. La différence entre les 2 hauteurs est égale au volume recherché.

$$Vs = (\text{Hauteur d'eau tombant sur le projet} - \text{Hauteur d'eau de fuite}) * \text{Surface du projet} * \text{coefficient d'unité}$$

$$\text{Soit : } Vs = \Delta h * S_a * 10$$

Le volume à stocker est calculé pour une pluie dont la durée est au moins égale à 6 minutes (domaine de validité des coefficients de Montana).

Le volume ainsi obtenu est multiplié par un coefficient de sécurité égal à 1,2.

La vérification porte ensuite sur la capacité de stockage du dispositif d'infiltration. Celle-ci devra être supérieure au volume à stocker.

6.4.3.2. Simulation des scénarios d'infiltration

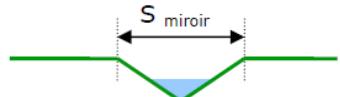
➤ Fossé d'infiltration :

Le fossé d'infiltration constitue un ouvrage linéaire, souvent étroit et peu profond avec une section de forme triangulaire. Le fossé ne nécessite pas d'exutoire puisque l'eau est infiltrée.

Le débit de fuite de l'ouvrage dépend de la surface d'infiltration qui est donnée par la surface au miroir du fossé.

Ce débit est ensuite divisé par 2 pour anticiper le colmatage des terrains le long du fossé.

$$\text{On a donc : } Q_f = \frac{S_{\text{miroir}} * K}{2}$$



Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

20 ans			100 ans		
Longueur	m	70	Longueur	m	95
Largeur projetée	m	2,052	Largeur projetée	m	2,202
Surface miroir	m ²	143,628	Surface miroir	m ²	209,216
Débit de fuite	m ³ /s	0,007	Débit de fuite	m ³ /s	0,010
Volume à stocker	m ³	28,404	Volume à stocker	m ³	44,965
Facteur majorant		1,2	Facteur majorant		1,2
Volume majoré	m ³	34,085	Volume majoré	m ³	53,958
Largeur Gueule	m	1,500	Largeur Gueule	m	1,700
Hauteur	m	0,700	Hauteur	m	0,700
Volume Stockage	m ³	36,750	Volume Stockage	m ³	56,525
Temps de vidange	min	65,920	Temps de vidange	min	71,640

Les dimensions de cet ouvrage sont donc :

- Pour une occurrence de 20 ans : 7000 x 150 x 70 cm pour un volume de 37 m³,
- Pour une occurrence de 100 ans : 9500 x 170 x 70 cm pour un volume de 57 m³.

➤ Tranchée d'infiltration :

La tranchée d'infiltration constitue un ouvrage linéaire superficiel, rempli de matériaux poreux capables d'infiltrer les eaux pluviales (Figure 14).

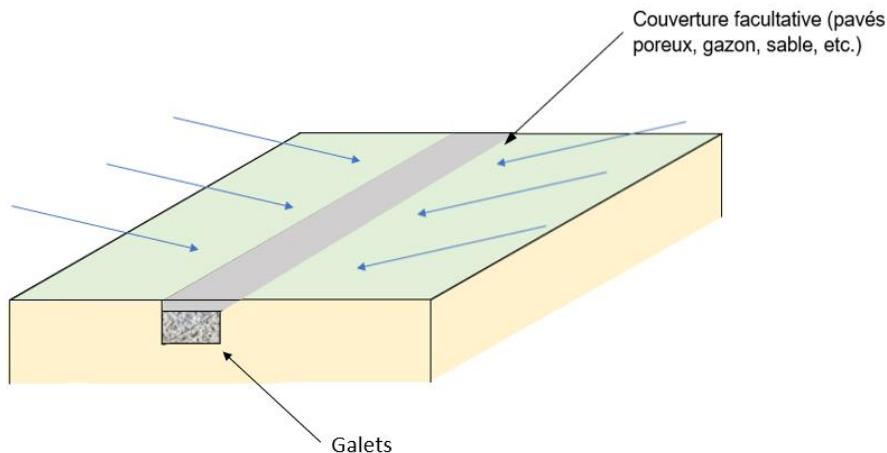


Figure 14 – Tranchée infiltrante, A. Foucher (2021)

Le débit de fuite de l'ouvrage dépend de la surface d'infiltration qui correspond à la surface des parois verticales de la tranchée⁴.

Ce débit est ensuite divisé par 2 pour anticiper le colmatage des terrains le long de la tranchée.

$$\text{On a donc : } Q_f = \frac{S_{\text{parois verticales}} * K}{2}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

20 ans			100 ans		
Longueur	m	45	Longueur	m	70
Hauteur	m	1,700	Hauteur	m	1,700
Surface Parois verticales	m ²	153,000	Surface Parois verticales	m ²	238,000
Débit de fuite	m ³ /s	0,008	Débit de fuite	m ³ /s	0,012
Volume à stocker	m ³	27,563	Volume à stocker	m ³	42,102
Facteur majorant		1,2	Facteur majorant		1,2
Volume majoré	m ³	33,076	Volume majoré	m ³	50,522
Largeur	m	1,500	Largeur	m	1,500
% de vides		0,3	% de vides		0,3
Volume Stockage	m ³	34,425	Volume Stockage	m ³	53,550
Temps de vidange	min	60,05	Temps de vidange	min	58,97

Les dimensions de cet ouvrage sont donc :

- Pour une occurrence de 20 ans : 4500 x 150 x 170 cm pour un volume de 34 m³,
- Pour une occurrence de 100 ans : 7000 x 150 x 170 cm pour un volume de 54 m³.

➤ Bassin d'infiltration :

Le bassin d'infiltration permet de contenir les eaux pluviales générées par le ruissellement et de les infiltrer dans le sol.

Le débit de fuite de l'ouvrage dépend de la surface d'infiltration qui correspond à la surface du fond du bassin.

Ce débit est ensuite divisé par 2 pour anticiper le colmatage des terrains le long de la tranchée.

$$\text{On a donc : } Q_f = \frac{S_{\text{fond du bassin}} * K}{2}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

20 ans			100 ans		
Surface Fond du bassin	m ²	50	Surface Fond du bassin	m ²	100
Débit de fuite	m ³ /s	0,003	Débit de fuite	m ³ /s	0,005
Volume à stocker	m ³	46,884	Volume à stocker	m ³	65,549
Facteur majorant		1,2	Facteur majorant		1,2
Volume majoré	m ³	56,261	Volume majoré	m ³	78,659
Temps de vidange	min	312,56	Temps de vidange	min	218,50

Les dimensions de cet ouvrage sont donc :

- Pour une occurrence de 20 ans : 50 m² de surface de fond pour un bassin de 56 m³,
- Pour une occurrence de 100 ans : 100 m² de surface de fond pour un bassin de 79 m³.

⁴ La surface de fond de la tranchée se colmate trop rapidement.

➤ Ouvrage de rétention et rejet à débit limité :

Un scénario alternatif aux scénarios d'infiltration est également proposé dans le cas où la perméabilité sur le site ne permet pas l'infiltration.

Le débit de fuite retenu pour le dimensionnement des ouvrages de rétention est de 10 L.s^{-1} .

Les dimensions de cet ouvrage sont donc :

- Pour une occurrence de 20 ans : un bassin de 24 m^3 ,
- Pour une occurrence de 100 ans : un bassin de 46 m^3 .

7. Retour sur les apports du stage

Cette expérience au sein du service Ville d'INGEROP a permis d'acquérir un certain nombre de connaissances et de compétences :

- Connaissances :
 - Connaissances théoriques liées aux îlots de chaleur urbain, regroupant des connaissances sur la nature en ville, les propriétés des matériaux, etc. Permettant de porter un regard critique sur les aménagements et les projets,
 - Connaissances générales sur les Bureaux d'études techniques et les différents acteurs du projet d'aménagement, sur le rôle spécifique du maître d'œuvre et de la maîtrise d'ouvrage ainsi qu'une bonne connaissance de la loi MOP,
 - Connaissances théoriques et techniques sur les réseaux et sur les problématiques liées à l'assainissement et à la gestion des eaux pluviales.
- Compétences :
 - Travail en autonomie,
 - Rédaction de notes et de documents du projet et esprit de synthèse pour la rédaction d'offres ou de compte rendus de réunion,
 - Compétences pour l'application de concepts théoriques lors d'un projet d'aménagement (notamment pour le dimensionnement d'ouvrage de gestion des eaux pluviales).

8. Conclusion

Cette première expérience professionnelle de 4 mois en bureau d'étude dans l'agence INGEROP de Clermont-Ferrand dans le domaine de l'aménagement a été très enrichissante, la thématique de stage était très intéressante malgré le peu de connaissance personnelle sur le sujet.

Ce stage a également été l'occasion d'orienter mes choix de projet professionnel. Le travail en bureau d'étude s'inscrit dans une conception plus technique des aménagements, ayant l'avantage d'être toujours extrêmement variée d'un projet à un autre mais auquel il manque selon moi un pouvoir de décision ou de conseil sur les prescriptions d'aménagement. Le prochain stage envisagé s'effectuera dans l'idéal chez une maîtrise d'ouvrage (collectivité ou autre) ou dans un bureau d'étude effectuant des missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage afin d'avoir une vue d'ensemble et des deux côtés (maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage) du projet d'aménagement.

9. Bibliographie

CEREMA, « Construction, expérimentation et évaluation d'actions de réduction des effets des îlots de chaleur urbains sur le site de la Place Delille » (2020).

ADEME, « Guide de Recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain à destination des collectivités territoriales » (2012).

ADEME, « Rafraîchir les villes – des solutions variées » (2021). ISBN : 979-10-297-1748-2, ©ADEME Éditions

Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Bretagne, « La densité et ses perceptions. Modalités de calcul de la densité. » (2013). Rapport, Aménagement et urbanisme durable.

D. Benamouma, « L'impact de la géométrie urbaine sur le confort thermique extérieur (cas de la ville de Batna) » (2018). Mémoire de fin d'étude d'Architecture. Université Mohamed Khider, Biskra.

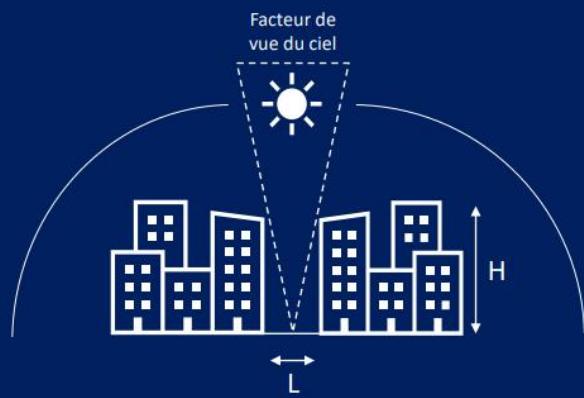
C. Erwan, « Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine » (2017). IAU îdF.

P. Recurt, « Dans quelles mesures les nouvelles techniques d'aménagement ont-elles un impact sur le climat urbain ? » (2020) Sciences du Vivant [q-bio]. dumas-03000926.

10. Annexes

La rue étroite

- *Rapport $\frac{H}{L} > 1,5$*
- **Ombrage important** la journée à cause du faible facteur de vue du ciel
- Typologie d'espace à faible trafic (voir nul) → espace piéton ou cyclable
- Choix de solutions d'aménagement contraints



Solution d'aménagement	Effet sur le confort thermique	Effet sur la Température à l'échelle de la ville	Effet sur la Température de surface	Effet sur consommation énergétique des bâtiments	Impact sur la biodiversité	Coût	Effet Bien être et santé
Augmenter l'albédo des revêtements de sol	négligeable	négligeable	négligeable	négligeable	-	faible	-
Augmenter l'albédo des façades	négligeable	négligeable	moyen	moyen	-	faible	-
Façade végétalisée	négligeable	négligeable	moyen	moyen	fort	élevé	fort
Plantation ponctuelle (bac de fleur, etc)	négligeable	négligeable	négligeable	négligeable	faible	faible	moyen
Supprimer la circulation automobile (lorsque ce n'est pas déjà le cas)	moyen	négligeable	négligeable	négligeable	négligeable	Variable	fort
Revêtement de sol perméable / poreux	négligeable	négligeable	négligeable	négligeable	négligeable	moyen	négligeable
Structure d'ombrage (voile d'ombrage, etc)	moyen	négligeable	négligeable	moyen	négligeable	faible à moyen	moyen

Les solutions d'aménagement relatives aux revêtements de sol de la rue étroite n'ont que peu d'incidence sur l'ICU.

Les rayonnements solaires qui se réfléchissent sur les façades à fort albédo peuvent entraîner un **inconfort visuel** à cause de l'**éblouissement**.

Leffet sur la consommation énergétique des bâtiments est **négligeable** lorsque ceux-ci sont **bien isolés**.

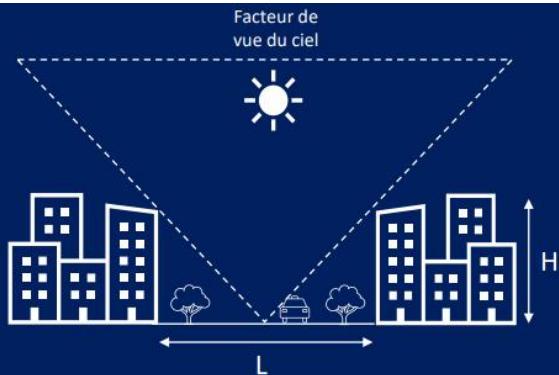
Plantations en **pleine terre** à privilégié mais souvent rendus impossibles par l'encombrement des sols par les réseaux.

Souvent impossible à cause de l'encombrement des sols par les réseaux.

En hiver, l'ombre portée sur les façades de bâtiments peut **augmenter la consommation énergétique**. Des structures éphémères en été sont à privilégié.

La voie large

- Rapport $\frac{H}{L} < 1,5$
- Typologie d'espace avec trafic et donc émission de chaleur et de polluants
- Choix de solutions d'aménagement plus libre
- Ombrage faible la journée en l'absence de mobilier d'ombrage ou de végétation



Cour Sablon, Clermont-Ferrand. (Google Streetview)

Solution d'aménagement	Effet sur le confort thermique	Effet sur la Température à l'échelle de la ville	Effet sur la Température de surface	Effet sur consommation énergétique des bâtiments	Impact sur la biodiversité	Coût	Effet Bien être et santé
Arbres d'alignement le long de la voirie	fort	fort	fort	faible	fort	Variable	fort
Façades végétalisées	faible	faible	moyen	fort	moyen	élevé	fort
Noues ou fossés	moyen	moyen	faible	négligeable	fort	faible	moyen
Fontainerie	moyen	moyen	faible	faible	faible	élevé	moyen à fort
Brumisation	fort	moyen	moyen	faible	négligeable	élevé	moyen
Arrosage de la voirie	faible	fort	fort	faible	négligeable	moyen	négligeable
Augmenter l'albédo des revêtements de sol	faible	moyen à fort	fort	faible	-	faible	-
Mobilier urbain d'ombrage	fort	faible	fort	faible à moyen	-	élevé	faible
Revêtements poreux / perméables	faible	faible	moyen	négligeable	faible	moyen	faible
Limiter le trafic	fort	fort	faible	faible	moyen	Variable	fort

- Privilégier les plantations en **pleine terre**,
- Planter **différentes strates de végétation**,
- Attention, une **canopée trop dense** au dessus de la voirie peut **empêcher la dispersion des polluants**,
- La possibilité de plantation d'arbres d'alignement dépend fortement de la **présence de réseaux**,
- Prendre en compte l'**accessibilité PMR** sur les trottoirs

→ Peut s'avérer **difficile voir impossible** à mettre en place en cas de **forte circulation**.

→ Question sur la **préservation de la ressource en eau** spécialement lors des périodes de forte chaleur.

→ Attention à ne pas créer de structures d'ombrage au dessus de la voirie qui pourrait **empêcher la circulation d'air et la dispersion des polluants**.

→ La **végétation** proche des revêtements poreux peut venir colmater les pores et **limiter l'infiltration**.

→ Privilégier les **transports en commun**.

La voie large permet un **écoulement de l'air** en ville, la **création d'espaces verts** en amont (dans le sens du vent) permet d'apporter de la **fraîcheur**.

La place

- Facteur de vue du ciel très important → subit fortement les rayonnements solaires
- Appropriation de l'espace par les piétons, cyclistes, transports en communs et éventuellement plus ponctuellement par les VL et PL.
- Peut être le support d'activité lors d'évènements particuliers (grande roue, rassemblement, etc...) = contraintes supplémentaires



Place de Jaude, Clermont-Ferrand. (Google Streetview)

Solution d'aménagement	Effet sur le confort thermique	Effet sur la Température à l'échelle de la ville	Effet sur la Température de surface	Effet sur consommation énergétique des bâtiments	Impact sur la biodiversité	Coût	Effet Bien être et santé
Strate haute de végétation / canopée	fort	fort	fort	faible	fort	Variable	fort
Strate basse de végétation	moyen	moyen	fort	faible	fort	faible	fort
Façades végétalisées	faible	faible	moyen	fort	moyen	élevé	fort
Noues	moyen	moyen	faible	négligeable	fort	faible	moyen
Fontainerie	moyen	moyen	faible	faible	faible	élevé	moyen à fort
Brumisation	fort	moyen	moyen	faible	négligeable	élevé	moyen
Augmenter l'albédo des revêtements de sol	faible	moyen à fort	fort	faible	-	faible	-
Mobilier urbain d'ombrage	fort	faible	fort	faible à moyen	-	élevé	faible
Revêtements poreux / perméables	faible	faible	moyen	négligeable	faible	moyen	faible

- Privilégier la **végétation en pleine terre**,
- La présence de végétation sur la place est conditionnée par l'emprise des **réseaux**.

L'aspect généralement très **minéral** de la place en ville fait qu'elle **accentue l'effet d'ICU**. Les solutions d'aménagement sur cet espace représentent des **leviers important de lutte contre ces effets**.

→ Peut représenter une gêne pour les usagers en termes d'éblouissement et de **ressenti thermique** lorsqu'il y a une forte activité le jour.

→ La **végétation** proche des revêtements poreux peut venir colmater les pores et **limiter l'infiltration**.

→ Les **propriétés mécaniques** des revêtements doivent permettre de **supporter les évènements et activités** sur la place.

Les parcs et jardins

- Constituent un **îlot de fraîcheur urbain**
- Indispensable au **bien-être** dans les villes. Type d'espace support d'activités culturelles et sportives
- Usagers principalement piétons et cyclistes
- Les aménagements dans les parcs et jardins ne constituent **pas des leviers importants pour lutter contre l'ICU**, en revanche ces aménagements **ne doivent pas réduire le potentiel de rafraîchissement** de cet espace



Jardin Lecoq, Clermont-Ferrand. (Google Streetview)

Solution d'aménagement	Effet sur le confort thermique	Effet sur la Température à l'échelle de la ville	Effet sur la Température de surface	Effet sur consommation énergétique des bâtiments	Impact sur la biodiversité	Coût	Effet Bien être et santé
Cheminement sol poreux / perméable	faible	faible	moyen	négligeable	faible	moyen	faible
Cheminement stabilisé / pavé	faible	faible	moyen	négligeable	négligeable	moyen	négligeable
Mobilier urbain d'ombrage	fort	négligeable	fort	négligeable	-	moyen	faible
Fontainerie / bassins	moyen	moyen	négligeable	faible	moyen à fort	élevé	fort
Brumisation	fort	faible	faible	faible	faible	moyen à élevé	moyen
Strate haute de végétation / canopée	fort	fort	fort	faible	fort	variable	fort
Strate basse de végétation	moyen	fort	faible	faible	fort	faible	fort
Noues et fossés	faible	moyen	-	négligeable	fort	faible	moyen

→ Les techniques de gestion alternative de l'eau de pluie par infiltration permettent d'améliorer l'efficacité de la végétation à proximité.

→ Préférer les strates de végétation arborescentes dans les parcs pour l'ombrage.

Le parc ou le jardin constitue déjà un **îlot de fraîcheur** en ville. Son insertion dans la morphologie urbaine va permettre de **rafraîchir les rues adjacentes en prenant en compte l'écoulement de l'air**.

→ Les techniques de gestion alternative de l'eau de pluie par infiltration permettent d'améliorer l'efficacité de la végétation à proximité.

Les parkings



Parking Université Clermont Auvergne, Clermont-Ferrand. (Google Streetview)

- Objectif de maximiser l'emprise destinée au stationnement
- Lieu de rencontre éventuel entre VL, PL, piétons cyclistes et transports en commun
- **Forte exposition aux rayonnements solaires** avec un aspect très minéral (revêtement asphalte)
- Les aménagements ont un **fort potentiel de réduction des ICU** sur les parkings

Solution d'aménagement	Effet sur le confort thermique	Effet sur la Température à l'échelle de la ville	Effet sur la Température de surface	Effet sur consommation énergétique des bâtiments	Impact sur la biodiversité	Coût	Effet Bien être et santé
Revêtements poreux / perméables	faible	faible	faible à moyen	négligeable	faible à moyen	moyen	faible
Augmenter l'albédo des revêtements de surface	moyen	fort	fort	négligeable	-	faible	-
Revêtements enherbés	fort	fort	fort	négligeable	moyen	faible	moyen
Noues et fossés	moyen	faible	-	négligeable	moyen	faible	moyen
Strate de végétation arborescente / canopée	fort	fort	fort	moyen	fort	variable	fort
Strate de végétation herbacée / arbustive	moyen	fort	moyen à fort	faible	fort	faible	fort
Mobilier urbain d'ombrage	fort	faible	fort	faible	-	élevé	-
Réduction de l'emprise réservée aux VL	moyen	faible	négligeable	-	moyen	-	fort

Les parkings présentent généralement un **fort degré d'imperméabilisation** avec un aspect très minéral accentuant l'effet d'ICU. Les solutions d'aménagement sur cet espace représentent des **leviers importants de lutte contre ces effets**.

- Lorsque les surfaces subissent directement les rayonnements solaires et ne sont pas ombragées.
- Une forte circulation automobile sur les revêtements enherbés va venir les **dégrader rapidement**.
- La présence d'arbres sur les parkings est conditionnée par l'emprise des **réseaux**,
- La végétation au dessus des places de stationnement peut avoir des **externalités négatives** en salissant les voitures et demandant de l'entretien.
- Attention, une canopée (ou du mobilier urbain d'ombrage) trop dense peut empêcher la dispersion des polluants dans l'air.
- Les solutions de mobilier urbain d'ombrage peuvent être couplés avec d'autres solutions apportant des co-bénéfices :
 - Panneaux solaires,
 - Végétation,
 - Albédo élevé, etc...

Les toitures



- Surface importante en ville subissant directement les rayonnements solaires incidents
- Solutions d'aménagement très limitées
- Réglementation plus contraignante

Musée Lecoq, Clermont-Ferrand. (Google Earth)

Solution d'aménagement	Effet sur le confort thermique	Effet sur la Température à l'échelle de la ville	Effet sur la Température de surface	Effet sur consommation énergétique des bâtiments	Impact sur la biodiversité	Coût	Effet Bien être et santé
Toiture avec revêtement à albédo élevé	-	fort	fort	fort	-	faible	-
Toiture végétale extensive	-	fort	fort	fort	fort	moyen	faible à moyen
Toiture végétale intensive	-	fort	fort	fort	fort	élevé	fort

La notion de confort thermique n'a que peu de sens concernant les toitures, les aménagements ont en revanche une **incidence directe sur les bâtiments**.

→ **Solution peu coûteuse et adaptable à tous les types de toitures** mais le PLU n'autorise pas nécessairement de toiture blanche ou avec un albédo élevé.

→ Essentiellement composée de **strates herbacées et de mousse**s qui **ne demandent pas d'arrosage mais un minimum d'entretien**. Bonne isolation thermique et acoustique.

→ Peut être composée de **strates arborescentes ou arbustives**. Joue le rôle d'un jardin en ville mais ne peut être mis en place que sur un **toit en béton** et demande un **entretien important**. Bonne isolation thermique et acoustique. **Pente de 1,4% maximum**.

→ Les toitures végétales doivent prendre en compte la pente et la charge acceptée par la toiture qui va conditionner le poids du système, le type de substrat, son épaisseur et les végétaux sélectionnés.

Demande également d'avoir un accès au toit.

Alexis Foucher
IUT - RESEAU
2020-2021

Rapport de stage : Outil d'aide à l'intégration des îlots de chaleur urbains et gestion des eaux pluviales

Résumé : Mon travail au sein de l'Agence de Clermont-Ferrand d'INGEROP a conduit à la création d'un guide méthodologique d'aide à l'intégration des problématiques de lutte contre les îlots de chaleur urbains et d'un outil sur l'efficacité des solutions par typologie d'espace en ville. Ma participation sur des projets à différents stades a permis d'aborder des questions d'assainissement et de dimensionnement d'ouvrages de gestion des eaux pluviales.

My work among the Clermont-Ferrand's agency of INGEROP led to the creation of a methodologic guide to help to the integration of the urban heat island's problematics. And a tool about the efficiency of the solutions by space typology in town. My participation on projects allowed me to see problematics about remediation and sizing of stormwater management structures.

Mots Clés : ICU, confort thermique, ville, changement climatique, assainissement, gestion des eaux pluviales.

INGEROP
11 rue verte, 63118 Cébazat



Tuteur entreprise :
Pierre Blanchard
Chargé d'affaire VRD

Tuteur académique :
Sébastien Laribe