



HAL
open science

Indicateurs pour l'analyse de la contribution d'un projet urbain à l'îlot de chaleur

Khaled Athamena

► **To cite this version:**

Khaled Athamena. Indicateurs pour l'analyse de la contribution d'un projet urbain à l'îlot de chaleur. Architecture, aménagement de l'espace. 2008. dumas-00469805

HAL Id: dumas-00469805

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00469805>

Submitted on 2 Apr 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES DES ENVIRONNEMENTS URBAINS

SPECIALITE : AMBIANCES ET FORMES URBAINES

Année : 2007/2008

Mémoire du Master STEU

Diplôme Co-habilité par :

L'École Centrale de Nantes,

L'Ecole Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines de Nantes

L'Ecole Supérieure d'Architecture de Nantes,

L'Université de Nantes

Présentée et soutenue par :

Khaled ATHAMENA

Le : 26/09/2008

À **L'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes**

**Indicateurs pour l'analyse de la contribution d'un projet urbain
à l'îlot de chaleur**

JURY

Président : **Marjorie Musy**, *Ingénieure de recherche, Docteur en génie civil, ENSA de Nantes*

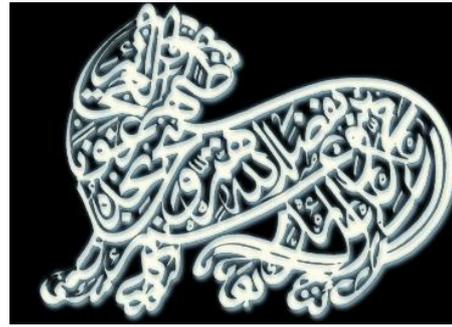
Examineurs : **Francis Miguet**, *Architecte DPLG, Professeur des ENSA, Paris Malaquais*

Tomas Leduc, *Ingénieur de recherche, Docteur en informatique, INSA Rouen*

Invité : **Dominique Groleau**, *Chercheur Associé au CERMA, Architecte DPLG*

Directeur de mémoire : **Marjorie MUSY**, *Ingénieur de recherche, Laboratoire CERMA, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes.*

Laboratoire/Institution : **Laboratoire CERMA UMR CNRS 1563.**



Remerciements

Je tiens tout d'abord à adresser mes sincères remerciements à Marjorie MUSY pour son suivi, ses conseils et sa disponibilité.

Mes remerciements vont aussi à Julien BOUYER, pour ses conseils et son soutien.

Je remercie également Martine CHAZELAS pour sa disponibilité, son attention et ses conseils. Merci beaucoup.

Un autre grand merci adressé à toutes les personnes du laboratoire CERMA qui m'ont offert un cadre agréable pour l'accomplissement de ce travail : Chams, Vincent, Nicolas, Jannik, Josiane, Véronique et Jehan ...

Je témoigne mes reconnaissances et mes chaleureux remerciements à mes parents, pour leur amour et leur tendresse, et à mes amis du Master surtout Chakib, Ale, Bertrand, Marc, Baptiste, Mauro, Anthony, Imad et ma cher Nawal pour leurs présences et leurs soutiens.



"The mother art is architecture. Without an architecture of our own we have no soul of our own civilization ¹"

"L'architecture est le jeu, savant, correct et magnifique des volumes sous la lumière. ²"

"Les matériaux de l'urbanisme sont le soleil, les arbres, le ciel, l'acier, le ciment, dans cet ordre hiérarchique et indissolublement. ³ "

¹**Frank Lloyd Wright**, *Frank Lloyd Wright*, Extrait du *New York Times* - 4 Octobre 1953

^{2,3}**Le Corbusier**, *Vers une architecture*, *Le Corbusier*, éd. G. Crès, 1923



Résumé

Les zones urbaines à travers le monde connaissent une forte croissance démographique. Les forêts et les espaces naturels couverts de végétation sont remplacés par des surfaces construites. En conséquence, l'énergie solaire est absorbée par les espaces bâtis et les surfaces pavées, causant une élévation de la température de surface des structures urbaines, augmentant la température de l'air ambiant.

Ce phénomène, appelé « îlot de chaleur urbain », a pour effet d'accroître la demande énergétique pour la climatisation des bâtiments et l'accélération de la formation du smog urbain, cause un inconfort thermique de l'homme, ainsi que des problèmes liés à la santé par une intensification des vagues de chaleur dans les villes.

Dans cette recherche, nous nous intéressons à l'impact de la diminution de l'albédo de surfaces urbaines sur l'accentuation du phénomène d'îlot de chaleur en focalisant sur l'effet des formes urbaines et des matériaux. Notre but est de proposer un ou plusieurs indicateurs morphologiques simplifiés, ainsi qu'une base de données des propriétés thermiques et solaires des matériaux de construction, afin de permettre aux acteurs concernés (maîtres d'œuvres et d'ouvrages) d'analyser la participation d'un projet urbain au phénomène d'îlot de chaleur. Cette investigation fait appel aux techniques de simulation numérique.

Dans la première partie de cette recherche, une synthèse bibliographique va nous permettre de faire le point d'une part sur l'impact de certains facteurs sur la valeur de l'albédo des surfaces urbaines, la réflexion des matériaux, leurs dégradations, le facteur de vue de ciel (S.V.F), les formes des surfaces urbaines, la densité du bâti, et d'autre part sur les différents indicateurs proposés dans la littérature qui permettent de quantifier soit le phénomène d'îlot de chaleur urbain soit l'albédo des surfaces. Ces informations sont nécessaires pour atteindre les objectifs énoncés ci-dessous.

La seconde partie, consiste à faire des simulations solaires avec le logiciel SOLENE (logiciel d'enseillement et de thermique développé par le laboratoire CERMA) qui permettent d'approcher une mesure de l'albédo des surfaces urbaines étudiées. Cette recherche s'appuiera sur un projet récent, la première phase du projet Lyon confluence.

La conclusion de cette étude sera d'élaborer une base de données des propriétés solaires et thermique des matériaux de constructions et de proposer un ou plusieurs indicateurs simplifiés qui permettent de lier la forme urbaine et les propriétés optiques des matériaux de surface et donc d'analyser en amont les projets urbains.

Mots-clés :

Microclimat urbain, albédo, matériaux, formes urbaines, indicateurs.



Abstract

Urban areas throughout the world are experiencing rapid population growth. Forests and natural areas covered with vegetation are replaced by surfaces mineral and built. Accordingly, solar energy is absorbed by built-up areas and paved surfaces, causing a rise in surface temperature of urban structures, increasing the ambient air temperature.

This phenomenon, called "urban heat island" has the effect of increasing energy demand for air buildings refreshing and accelerating the formation of urban smog, causing thermal discomfort for population, as well as problems to health by due to the intensification of heat waves in cities.

In this research, we study the impact of the decrease in urban surface albedo on the phenomenon of heat island by focusing on the effect of urban forms and materials. Our goal is to propose one or more simplified indicators morphological, and a database of solar and thermal properties of building materials, to enable decision makers (architects, urban planes) to analyze the participation a project to the phenomenon of urban heat island. The investigation involves numerical simulation techniques.

In the first part of this research, literature review will enable us to make accessions take stock of a part on their the impact of certain factors on the value of the surface albedo urban reflection of materials, their degradation, sky view factor (SVF), forms of urban areas, the density of buildings, and secondly on the various indicators proposed in the literature to quantify is the phenomenon of urban heat island is the albedo of surfaces. This information is necessary to achieve the objectives set forth below.

The second part is to make solar simulations with the software SOLENE (simulation sunshine and heat (developed by the laboratory CERMA) that can approach a measure of albedo urban areas studied. This research will build on a recent project, the first phase of the project Lyon confluence.

The conclusion of this study will develop a database of solar and thermal properties of materials of construction and propose one or more simplified indicators that can link the urban form and optical properties of surface materials and therefore to analyze upstream urban projects.

Keywords:

urban microclimate, albedo, materials, shapes urban, indicators.



Table des matières

Résumé	3
Introduction générale	5
Problématique	6
Hypothèse	7
Objet d'étude et méthodologie de travail	8
Organigramme de la recherche	9
Chapitre I	10
Définition de l'îlot de chaleur	16
A. Le bilan énergétique d'une surface extérieure	17
B. L'albédo de la surface	17
Facteurs liée aux matériaux	
L'impact de la couleur des matériaux	18
1.2.L'impact de la nature des matériaux d'enveloppes	21
1.2.1. Les matériaux des toitures	21
1.2.1.1. Les toitures simples.....	21
1.2.1.2. Les toitures jardins	23
1.2.1.3. Les toitures couvertes par des matériaux poreux	25
1.2.1.4. Les toitures couvertes par des panneaux photovoltaïques	26
1.2.3. Les matériaux des façades	26
1.2.4. Les revêtements urbains	27
1.2.5. Dégradation des matériaux	28
Facteurs liée à la géométrie urbaine	
2.1. Le facteur de vue de ciel.....	31
2.2. Le rapport Hauteur / largeur (H/W).....	33
2.3. La Densité Surfaccique	35
2.4. La Compacité	36
Facteurs spatial	
L'orientation	37
Facteurs spatio-temporels	
2.5. La hauteur solaire	38



Chapitre II	42
1. Présentation des deux projets	43
1.1. Le projet Lyon confluence	43
1.2. Le projet de la cité jardin	45
2. Analyse architectural des deux projets	47
2.1. Le projet Lyon confluence	
2.2. <i>L'îlot A</i>	
2.2.1. Le programme de l'îlot A et son environnement proche	47
2.2.2. Analyse architectural et urbain	48
2.2.3. Analyse des facades et des matériaux	49
2.2.4. Calcul de l'albédo des surfaces de l'îlot.....	51
2.3. <i>L'îlotB</i>	
2.3.1. Le programme de l'îlot B et son environnement proche	55
2.3.2. Analyse architectural et urbain	56
2.3.3. Analyse des facades et des matériaux	57
2.3.4. Calcul de l'albédo des surfaces de l'îlot.....	57
2.4. <i>L'îlotC</i>	
2.4.1. Le programme de l'îlot C et son environnement proche	59
2.4.2. Analyse architectural et urbain	59
2.4.3. Analyse des facades et des matériaux	60
2.4.4. Calcul de l'albédo des surfaces de l'îlot.....	62
A. Le projet de la cité jardin	
1. Le programme du projet et son environnement proche	63
2. Analyse architectural et urbain	63
3. Analyse des facades et des matériaux	64
4. Calcul de l'albédo des surfaces du projet	64
3. Analyse morphologique des deux projets	65
3.1. L'indice de compacité.....	67
3.2. La densité surfacique.....	68
3.3. Expérimentation sur les deux tissus.....	69
4. Analyse géométrique des deux projets	76
4.1. Expérimentation sur les deux tissus.....	77



4.2. Analyse des résultats.....	81
5. Analyse physique des deux projets	83
5.1. Définition de l'albédo des surfaces	83
5.2. Méthode de calcul.....	83
5.3. Exploitation des résultats.....	84
5.4. Expérimentation sur les deux tissus.....	85
5.5. Etude de l'impact de la hauteur solaire sur l'albédo	91
5.6. Etude de l'impact du vitrage sur l'albédo	92
5.7. Etude de l'impact de l'hétérogénéité des matériaux sur l'albédo	94
5.8. Etude de l'évolution journalière des valeurs d'albédo en fonction de l'orientation des faces	96

3. Chapitre III.....	100
3.1. Synthèse comparative des résultats	100
3.2. Proposition de l'indicateur	104
3.3. Limite et critique de la recherche	106
3.4. Conclusion générale perspective	107

Bibliographie

Annexes



Introduction générale

Contexte

Cette étude s'inscrit dans le contexte général des travaux portant sur la qualité environnementale des espaces urbains extérieurs et précisément sur l'impact des matériaux et des formes urbaines sur le phénomène d'îlot de chaleur.

La complexité spatiale des tissus urbains et leur interaction avec les phénomènes environnementaux a posé plusieurs difficultés pour les concepteurs que ce soit les maîtres d'œuvres ou les maîtres d'ouvrages (intégration des bâtiments aux tissus urbains, leurs interactions avec l'environnement) lors du processus de la conception et de la prise de décisions urbaines. Plusieurs investigations ont été proposées et menées pour définir et résoudre ces difficultés qui sont généralement liées à la complexité spatiale en se concentrant sur l'étude d'un phénomène spécifique afin d'élargir et d'approfondir un domaine d'étude.

En outre, de nouvelles approches qui considèrent la ville comme un système dans lequel se développent, se chevauchent, plusieurs sous systèmes ont été développés récemment. Ces nouvelles approches font l'objet de plusieurs études de systématisation liant ainsi les rapports entre les différentes propriétés de l'environnement urbain que ce soit les bâtiments, la population, le climat ou la géométrie urbaine.

Ce constat d'une volonté de dépasser les processus habituels et conventionnels de la conception architecturale et urbaine, face à des professionnels peu formés en matière de contrôle des ambiances, nous conduit à développer des règles de connaissances opératoires dans les phases de conception et de développer des outils d'aide à la décision urbaine permettant de mieux prendre en compte les enjeux de développement durable. Hétérogénéités



Problématique

La ville agit sur le microclimat local ainsi que sur la température du sol qui est en moyenne, plus élevée dans les zones urbaines que dans les zones rurales avoisinantes. Ce phénomène connu sous le nom d'îlot de chaleur urbain est caractérisé par des températures élevées dans le centre-ville par rapport au milieu rural environnant. Ce phénomène apparaît surtout pendant les nuits.

Plusieurs facteurs participent à l'accroissement du phénomène d'îlot de chaleur urbain tel que : la diminution de la vitesse du vent dans les centres des villes, la réduction des surfaces perméables « espace vert » a cause de la minéralisation des surfaces, réduisant ainsi la capacité de refroidissement par évaporation, la réduction de l'albédo des surfaces urbaines en diminuant le flux de rayonnement réfléchi vers le ciel.

Dans ce sens, l'albédo d'une surface urbaine est un facteur déterminant dans la réduction du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Les chercheurs ont constaté qu'il change en fonction de la structure géométrique ainsi que les caractéristiques optiques des revêtements du sol et des bâtiments.

Cela nous conduit à poser les questions suivantes: ***Quel impact peuvent jouer les matériaux de construction et les formes d'un projet urbain sur l'albédo des surfaces de façon spécifique et sur l'atténuation du phénomène d'îlot de chaleur de façon générale ?***

Et comment peut-on caractériser simplement la contribution d'un projet urbain au phénomène d'îlot de chaleur?

De ces questions découle le sujet de notre recherche: ***« Proposition d'indicateurs qui caractérisent la participation des matériaux et les formes d'un projet urbain au phénomène d'îlot de chaleur »***



Hypothèses

La problématique annonce plusieurs hypothèses, lesquelles supposent l'existence d'une relation entre les caractéristique du tissu et la situation microclimatique et environnementale qui lui est propre cela parait évident en premier lieu, mais que l'on considère que la forme urbain comme un paramètre déterminant pour la compréhension de certain facteurs sur l'environnement urbain pourrait constituer une voie intéressante pour l'analyse urbaine prenant en compte les conditions environnementales aux travers des descripteurs morphologiques.

Nous nous engageons alors à proposer un ou plusieurs indicateurs en partant de l'hypothèse selon laquelle la variation des nombreuses propriétés des configurations morphologiques apporte des modifications environnementales variées.

A l'échelle de quartier, le caractère quasi-aléatoire de la forme architecturale est estompé au profit de caractéristiques moyennes, ce qui permet de s'affranchir des hétérogénéités de l'espace local et de rendre compte des effets moyens et des pourcentages de différentes interactions.

Nous supposons que la détermination de certains descripteurs morphologiques est susceptible de caractériser le tissu urbain. Enfin, il nous semble envisageable qu'à chaque indicateurs morphologique correspond un ou plusieurs indicateurs rendant compte de phénomènes environnementaux.

A l'échelle du bâtiment, l'utilisation de plusieurs matériaux de revêtements hétérogène (inox, bois Mélèze, polycarbonate, ...) dans les caractéristique solaires n'ont pas été identifié par la littérature, nous a mené a proposer des valeurs arbitraires ont leurs comparant avec d'autres matériaux de la même catégorie.



Objet d'étude et méthodologie de travail

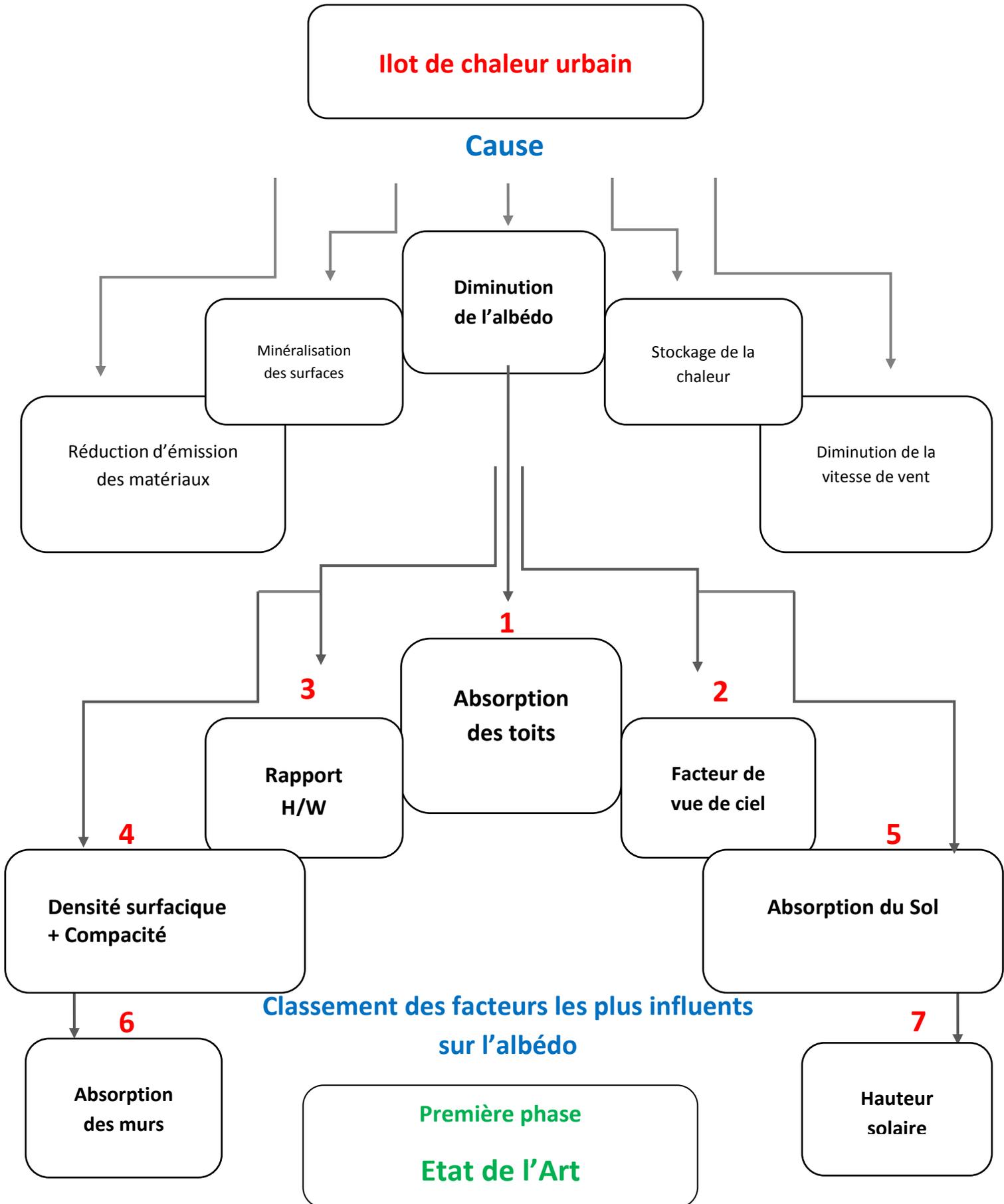
Dans le cadre de ce travail nous savons que des choix judicieux des matériaux et des formes urbaines peuvent participer à la régulation du microclimat urbain et réduire le phénomène d'îlot de chaleur. Ces systèmes que l'on peut désigner comme passifs, au sens où ils ne sollicitent aucune contribution d'énergie externe, se comportent comme des outils de protection et comme des réservoirs d'énergie. Cependant, il est encore difficile à l'heure actuelle dévaluer l'impact d'un tel choix sur le phénomène d'ICU.

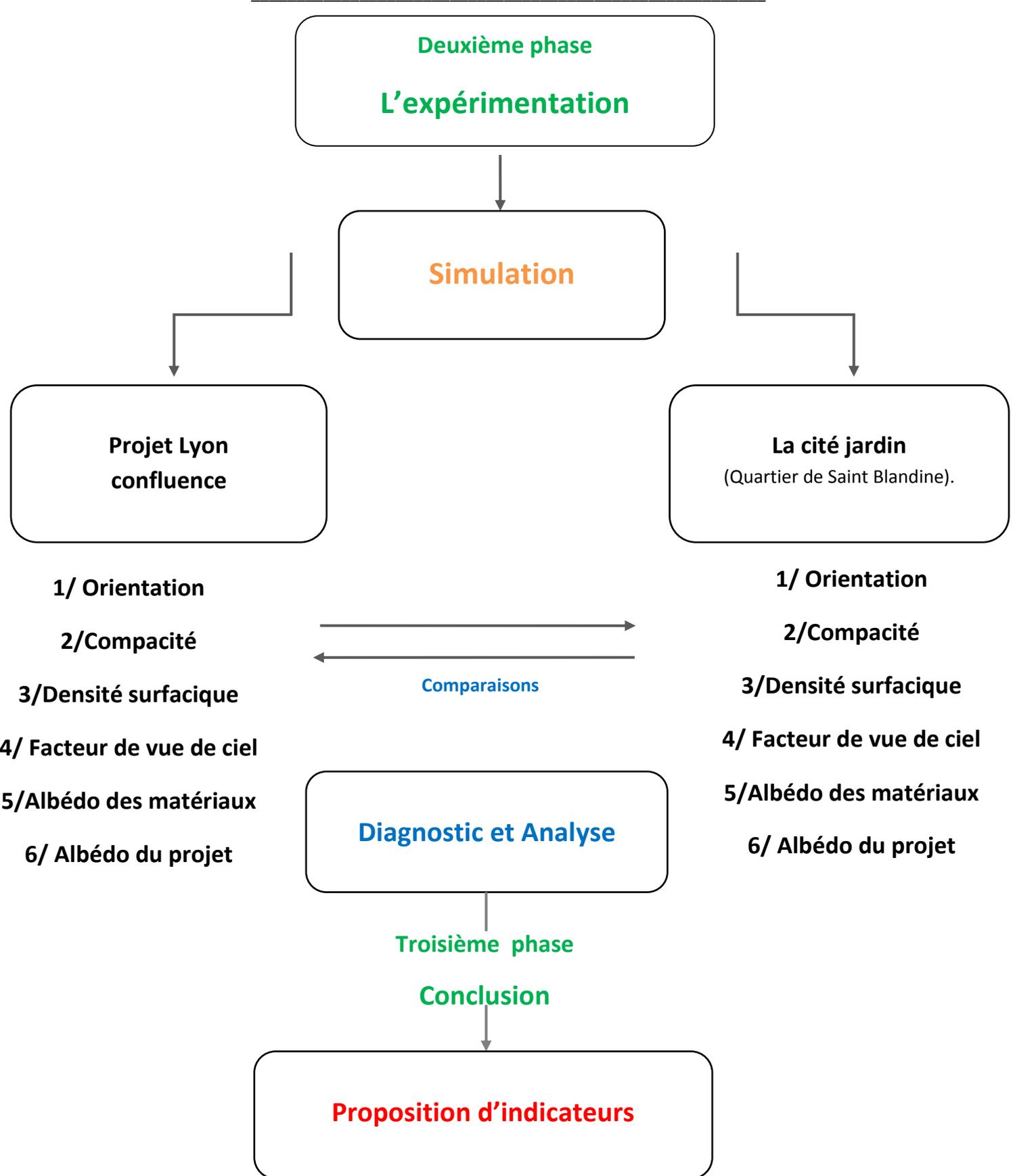
L'objectif de notre recherche est de proposer des indicateurs simplifiés qui permettraient de lier forme et matériau aux caractéristiques radiatives de la surface urbaine. Cette proposition nécessite en amont une recherche bibliographique. Ainsi, dans cette première partie de notre étude, nous présentons un rappel sur la définition du phénomène d'îlot de chaleur urbaine, bilan énergétique d'une surface et celle de l'albédo.

Dans la deuxième partie de cette étude bibliographique on s'intéressera à la notion d'albédo des surfaces qui joue un rôle très important dans l'augmentation ou l'atténuation de l'îlot de chaleur urbain. Nous analyserons dans cette partie et de façon plus détaillée les facteurs les plus influents sur l'albédo. Cela va nous permettre d'avoir une idée plus précise sur le rôle et le poids de chaque facteur dans ce processus complexe.

Le second chapitre de cette recherche, qui est la partie expérimentation, consiste à analyser et diagnostiquer soit par simulation ou par calcul ces facteurs sur deux sites. L'un est en cours de réalisation, il s'agit du projet Lyon confluence, l'autre est un quartier existant implanté dans le même site que le premier, il s'agit de la cité jardin à Lyon (Quartier de Saint Blandine).

Enfin, la conclusion de cette étude nous conduit à proposer un ou plusieurs indicateurs synthétisant l'ensemble des résultats afin d'approcher une mesure de l'albédo d'une surface urbaine et d'aboutir à une discussion critique de cette étude.





L'organigramme de la recherche



I. Premier chapitre

L'état de l'art

« On dessine afin de pousser à l'intérieur, dans sa propre histoire, les choses vues. Une fois les choses entrées par le travail du crayon, elles restent dedans pour la vie ; elles sont écrites, elles sont inscrites. ³»

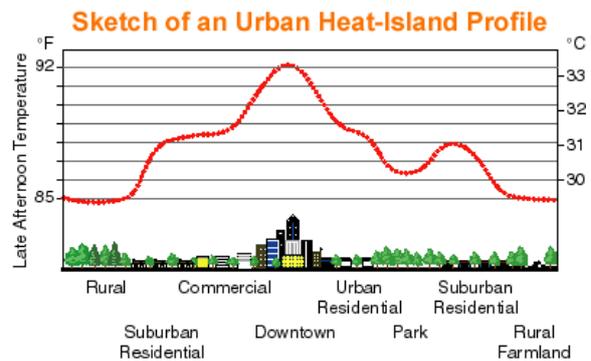
³Le Corbusier, *l'architecture pour émouvoir*. Jean JENGER. Edition Gallimard Arts, 2004, p 25



A. Définition de l'îlot de chaleur urbain

On appelle phénomène d'îlot de chaleur urbain l'observation de fortes différences entre les températures mesurées en site urbain et les températures des campagnes environnantes. En effet, la représentation de l'évolution spatiale de la température révèle dans ces conditions un pic de température, semblable à un « îlot », au niveau des agglomérations (**URBAT 2006**).

Figure 1- Exemple de variation de la température entre milieu urbain et rural pour une fin d'après-midi estivale, d'après « Heat Island Group » (<http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/>)



Le phénomène d'îlot de chaleur thermique a été observé pour la première fois dans les grandes zones urbaines dans les années 1960. Durant les quarante dernières années, de nombreux chercheurs ont étudié le phénomène d'îlot de chaleur thermique grâce à l'observation, l'expérimentation, et les modèles mathématiques.

Des chercheurs américains (**Akbari et al. 1992**) ont constaté que les températures hivernales, dans les zones urbaines, sont généralement plus élevées de 1 à 4 °C que celles des zones rurales proches. Ce phénomène peut être un avantage en hiver car il permet de diminuer les factures de chauffage. Parallèlement, il augmente la production de brouillard. Cependant, dans les climats chauds, une augmentation de la température entraîne une augmentation de la demande énergétique en conditionnement de l'air.

Des prélèvements de température effectués au centre-ville de Los Angeles en U.S.A, montrent une augmentation de température d'environ 2,5 °C entre 1920 et 1997 (**Akbari et coll. 2001**).

Cette différence de température entre le milieu urbain et rural est engendrée par plusieurs facteurs (**Oke 1987, Akbari et coll. 1997; Konopacki et Akbari, 2001; Santamouris, 2001**) :

- Stockage de la chaleur dans les constructions ;
- Minéralisation des surfaces de sol ce qui induit la suppression de la capacité de refroidissement par évaporation ;
- Diminution de la vitesse de vent ;
- Production de chaleur anthropogénique (chauffage des bâtiments, voitures, industries...);
- Forte absorption des rayonnements solaires de grande longueur d'onde (**GLO**) à cause de la pollution atmosphérique ;
- Faible réflexion et stockage de l'énergie solaire par les matériaux et les surfaces urbaines à cause de leurs faibles albédos.



B. Le bilan énergétique d'une surface extérieure

D'un point de vue formel, on peut exprimer le bilan énergétique d'une surface comme suit:

$$R_n = Q_s + Q_c + Q_e$$

Où R_n représente le rayonnement net à la surface, Q_c le flux de chaleur sensible libéré dans l'atmosphère par convection, Q_e le flux de chaleur latente libéré par évaporation et Q_s le flux de chaleur dans le sol qui traduit l'énergie transmise aux couches profondes. Le terme le plus directement concerné par ce travail est bien évidemment le rayonnement net. Ce terme peut s'exprimer simplement:

$$R_n = R_s (1 - \alpha) + \varepsilon R_{id} - R_{Lu}$$

Où, R_s représente le rayonnement incident dans les courtes longueurs d'onde (rayonnement solaire), R_{id} le rayonnement incident dans les grandes longueurs d'onde (rayonnement atmosphérique), ε et l'émissivité de la surface, R_{Lu} le rayonnement émergent dans les grandes longueurs d'onde (rayonnement tellurique), et α constitue l'albédo de la surface.

Seuls, ces deux derniers termes dépendent des caractéristiques de la surface et varient suivant la présence ou non de végétation, le relief, la qualité des sols... L'étude du rayonnement grandes longueurs d'onde dépasse le cadre de cette étude et nous nous concentrerons sur l'étude de l'albédo de surface comme une caractéristique des surfaces à l'échelle urbaine.

C. L'albédo de la surface :

L'albédo d'une surface est le ratio entre le flux court longueurs d'onde global réfléchi et le flux incident correspondant. Il prend en compte les composantes directes et diffuses de ces flux. En général, dans les calculs du bilan énergétique de surfaces, l'albédo renvoie à une valeur intégrée sur l'ensemble des longueurs d'onde.

(Cantat, 1989) a estimé l'albédo de divers types de surfaces ainsi que leur température dans la majeure région parisienne. Il a constaté que l'albédo de Paris est d'environ 16% plus bas que celui des zones rurales environnantes.

L'albédo d'une ville ou d'un quartier dépend de plusieurs facteurs, un classement des facteurs les plus influents sur les valeurs d'albédo a été fait par **(Chimklai et Coll. 2001)**. Ce classement montre clairement que la réflexion des toits est le facteur le plus influent sur les valeurs d'albédos, viennent ensuite le facteur de vue de ciel (SVF), le rapport (H/W), pourcentage d'occupation de sol, réflexion du terrain, la réflexion des murs qui ont aussi un grand effet sur les valeurs d'albédos et enfin la hauteur solaire, l'angle d'azimut solaire lui ont moins d'influence sur le niveau d'albédo. A partir de cette recherche ont distingué quatre facteurs primordiales :



- **Facteurs liées aux matériaux de construction**
- **Facteurs liée à la forme géométrique urbaine**
- **Facteurs spatial**
- **Facteurs spatio-temporels**

Nous développons dans ce qui suit et de manière plus détaillée l'impact de chaque facteur dans la diminution et l'augmentation de l'albédo.

1. Facteurs liées aux matériaux :

L'utilisation des matériaux ayant une forte réflexion solaire dans les enveloppes des bâtiments et dans les environnements urbains entraîne des avantages directs et indirects.

Les avantages directs à l'échelle du bâtiment, consistent à réduire les températures de surface qui permettent automatiquement de réduire la consommation d'énergie des bâtiments notamment en été. À l'échelle de la ville, l'augmentation de la réflexion solaire contribue elle aussi à la réduction de la température de l'air due aux phénomènes de transfert de chaleur.

Le bénéfice indirect liés à cette disposition, et le refroidissement de l'air ambiant d'une ville ou d'un quartier qui à son tour diminue le besoin de climatisation, retarde la formation de smog et améliore le confort de l'environnement (**Rosenfeld et Coll. 1996, Akbari et Coll. 1997, Konopacki et Akbari, 2001**).

Enfin, l'utilisation des matériaux de haut albédo réduit la quantité de rayonnement solaire absorbé par le biais des enveloppes de bâtiments et de structures urbaines et garde leurs surfaces plus froides. Les recherches ont montré que la température de l'air intérieur pendant une journée d'été peut être abaissée de près de 4 C° en changeant l'albédo des surfaces de 0,25 à 0,40 dans les climats chauds d'attitudes moyennes (**Taha et Coll. 1997**)

A plusieurs échelles, de nombreux travaux de recherche ont été menés afin d'évaluer les éventuels avantages énergétiques et environnementaux des surfaces à fort pouvoir de réflexion.

1.1 L'impact de la couleur des matériaux :

(**Bansal, Garg, Kothari, 1992, Bretz et Akbari, 1997, Synnefa, Santamouris, Livada, 2005**), ont montré que l'augmentation de la réflexion et de l'émission des matériaux des toitures abaisse la température des surfaces. Les mesures ont montré aussi que les toits peints avec des revêtements blancs ont une forte réflectivité qui peut atteindre 72%. Cette dernière est supérieure à celle des toitures de couleur sombre ou noire qui ne dépasse pas les 26%.

Concernant l'analyse de la performance thermique des matériaux, il à été constaté que l'utilisation des revêtements réfléchissants peut réduire de façon significative les températures de surface, les résultats ont montré que les toits peints en noir ont enregistré des valeurs de température supérieurs de 7C° par rapport à ceux peints en blanc pendant les heures de plein soleil (**Akbari et Coll. 2003**).



Donc on peut déduire que $T_{\text{Toit noir}} = T_{\text{Toit blanc}} + 7^\circ$

Où, $T_{\text{toit noir}}$: Correspond à la température des toits peints en noir ;

$T_{\text{toit blanc}}$: Correspond à la température des toits peints en blanc.

(Simpson, Mc Pherson, 1997) ont étudié l'impact de la réduction des températures des toits sur la consommation d'énergie en augmentant leurs albédos, à la fois avec et sans isolation de plafond en Arizona, U.S.A.

Les résultats de cette recherche ont montré que les toits blancs avec un albédo de 0,75 étaient jusqu'à 20 °C plus froids que les toits gris (albédo 0,30) et celles d'argents (albédo 0,50), et jusqu'à 30 °C plus froide que celles des toits brunes (albédo 0,10). Ces valeurs d'albédo peuvent se détériorer avec le temps en fonction des conditions météorologique locales et en raison de l'encrassement, des moisissures qui réduisent potentiellement l'efficacité des matériaux.

(Berdahl, Bretz et Coll. 1997) ont présenté un rapport sur la réflexion de l'énergie solaire de quelques types de peinture, ils ont montré que :

- Les peintures acryliques blanches ont un fort pouvoir de réflexion notamment dans le visible qui est de l'ordre de 90%, le produit présente aussi des propriétés d'absorption dans le proche infrarouge ;
- Les revêtements des toitures blancs sont aussi d'excellents matériaux de réduction de chaleur grâce à leur potentiel de réflexion solaire qui est généralement d'environ 0,8. L'usage de la couleur blanche constitue aussi un avantage contre les fissurations dues au phénomène de dilatation. L'inconvénient de ces revêtements c'est qu'à partir de la longueur d'onde 0.4 (infrarouge) l'absorption diminue.

(Prado, Ferreira, 2004, Doulos et Coll. 2004, Synnefa et Coll. 2006) ont étudié le rôle des couleurs des matériaux dans l'absorption des rayons solaires, les recherches ont montré que les matériaux blancs comme les peintures acryliques blanches ainsi que les revêtements de ciment blanc présentent des faibles valeurs d'absorption allant de 0.15 à 0.3.

Les peintures acryliques rouges et vertes et les carreaux d'argile rouge ainsi que les bardeaux d'asphalte (asphalt single) blanc présentent eux des valeurs d'absorption allant de 0.5 à 0.75. Enfin les matériaux qui présentent un fort pouvoir d'absorption sont les bardeaux d'asphalte vert et les peintures acryliques noires. D'autres matériaux ont été utilisés pour cette recherche comme : l'aluminium pigmenté ainsi que l'acier galvanisé, ces derniers ont un pouvoir de réflexion qui avoisine 0,9, et un pouvoir d'émission des rayons infrarouge d'environ 0,1.

Les résultats ont montré aussi que les carreaux de béton revêtus en blanc (peinture d'acrylique, latex d'acrylique, Alkyde caoutchouc chloré, peinture acrylique élastomère) peuvent réduire la température de surface sous les conditions chaudes de l'été de 4 °C pendant la journée et de 2 °C pendant la nuit par rapport aux tuiles de béton non revêtues en blanc. Ils peuvent être plus chauds, que l'air ambiant par seulement 2 °C pendant la journée et plus froid que l'air ambiant de 5,9 °C



pendant la nuit. Ces revêtements présentent des performances thermiques supérieures, même comparées à d'autres matériaux dits froids comme le marbre blanc et la mosaïque blanche et leur application à l'environnement urbain à un grand potentiel en matière de réduction des températures de surface

(Synnefa, Santamouris, 2007) ont présenté les propriétés spectrales mesurées et les performances thermiques de 10 prototypes de revêtements colorés. Dans cette investigation les chercheurs ont fait une comparaison entre des enduits avec des pigments réfléchissants dans le proche infrarouge et d'autres de couleur standard. Les résultats ont montré que :

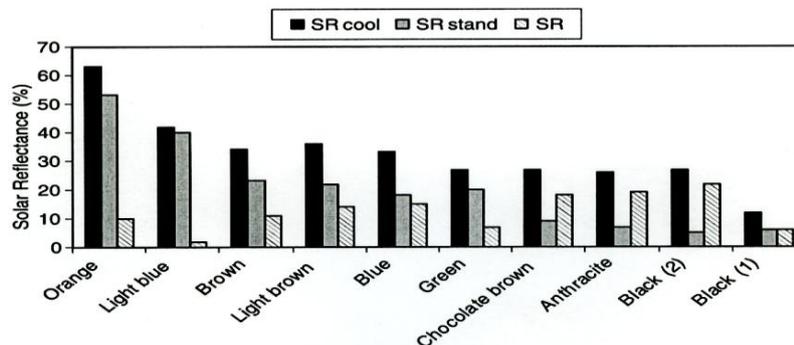
Pour tous les revêtements contenant des pigments réfléchissants, la réflexion des rayons infrarouges est supérieure aux revêtements standards. La plus grande différence dans la réflexion solaire est observée entre les revêtements noirs pigmentés (SR = 27%) et les noirs standard (SR = 5%) où l'augmentation de la réflexion solaire était de 440%. En revanche, la plus petite différence de réflexion solaire a été observée entre les revêtements bleu clair pigmentés (SR = 42%) et les bleus standard (SR = 40%), avec une augmentation de la réflexion solaire de seulement 5%. En général, l'augmentation de la réflexion solaire varie avec la couleur du revêtement, mais elle semble être plus élevée pour les couleurs foncées.

Les mesures de l'émissivité infrarouge des échantillons indiquent que l'émission infrarouge est de l'ordre de 0,88. Les chercheurs ont constaté que l'émission des revêtements n'a pas été touchée par l'ajout des pigments.

Les résultats de la recherche concernant l'impact des intempéries montrent que la restauration de la réflexion solaire résultant du lavage est jugée très importante. En fait, la réflexion solaire après le lavage a été rétablie à 93%, pour tous les échantillons. Ceci indique que la diminution de la réflexion est principalement due à la saleté.



Matériaux standard et pigmentés utilisés pour L'expérimentation (synnefa et coll. 2007)



La réflexion solaire des différents revêtements colorés standard et pigmentée (Synnefa et Coll, 2007)



L'analyse de la performance thermique des couches a révélé que pour le premier et le deuxième mois de la période expérimentale, la moyenne journalière des températures de surface se situait entre 36,4 et 31,6 °C pour les revêtements oranges standards et oranges pigmentées et 49,4 et 40,9 °C pour les revêtements noirs standards et les noirs pigmentées, respectivement.

Les meilleurs résultats ont été présentés par les revêtements noirs, marron chocolat, bleu et anthracite, qui a maintenu les différences de température de surface moyenne quotidienne de comparativement aux revêtements de couleur standard 5,2, 4,7, 4,7 et 2,8 °C, dans le courant du mois d'août. La différence de température la plus élevée (10,2 °C) a été observée entre les revêtements noirs pigmentés et les noirs standard

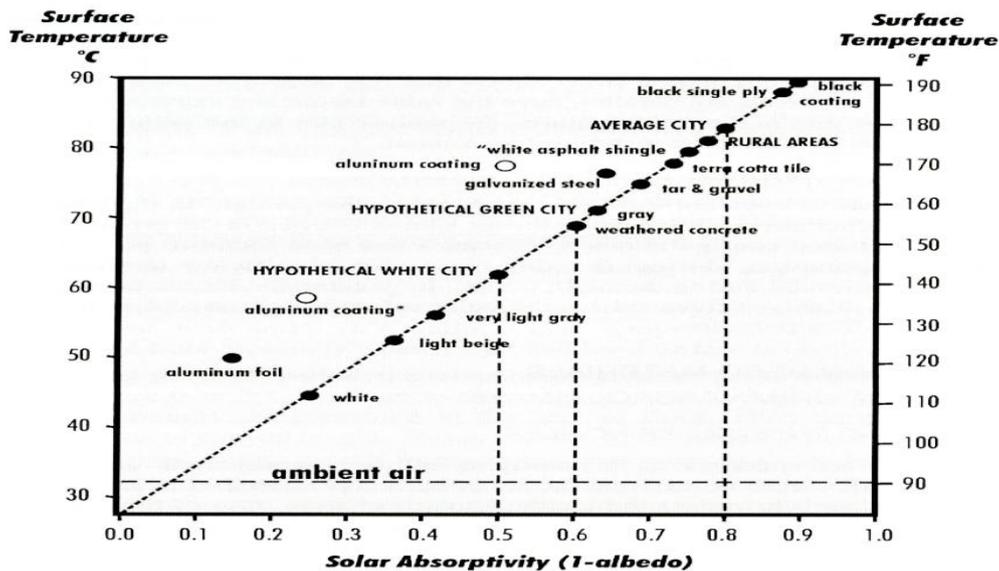
1.2 L'impact de la nature des matériaux d'enveloppes

1.2.1 Les matériaux des toitures

1.2.1.1 les toitures simples

(Berdahl, Bretz et Coll. 1997) ont présenté un rapport quantitatif des valeurs de réflexion de l'énergie solaire pour quelques types de matériaux, et ils ont examiné les propriétés de ces matériaux comme la composition, la rugosité, de pureté et leur impact sur la réflexion solaire. Ce rapport montre que :

- Les membranes polymériques blanches ont un coefficient de réflexion assimilable à celui des toits blancs qui est de l'ordre de 0.8, leur ballastage en gravier diminue cette valeur élevée ;
- Les revêtements d'aluminium pigmenté présentent une tendance croissante de réflexion qui augmente avec la longueur d'onde, elle est de l'ordre de 0.8. Ils se caractérisent par un faible pouvoir d'émissivité, contrairement aux revêtements blancs, qui absorbent les rayons ultraviolets et visibles jusqu'à la longueur d'onde 0.4 μm . Les revêtements d'aluminium sont plus réfléchissants au-delà de cette gamme, la réflexion solaire globale va de 30 à 56% (variation due à la fraction d'aluminium) ;
- Concernant les bardeaux d'asphaltes (asphalt single), les recherches ont montré qu'ils ont un faible pouvoir de réflexion qui est de l'ordre de 29 %, la baisse de réflexion due aux effets de la rugosité et la couleur des bardeaux qui diminue beaucoup la réflexion.



Absorption solaire en fonction de la température d'une surface horizontale. Peinture, matériaux de chaussée, matériaux de revêtements, matériaux urbains (Taha et Coll 1992)

L'effet de la rugosité a aussi été étudié, les chercheurs ont constaté que : la rugosité diminue fortement la réflexion, si la surface est rugueuse, les photons de lumière effectuent une ou plusieurs réflexions avant de s'échapper, ainsi la probabilité d'absorption des rayons lumineux est donc augmentée. Une recherche a été faite sur le sujet de la réflexion sur deux revêtements l'un est lisse et l'autre rugueux, il s'est avéré que la réflexion des couches lisses est de l'ordre de 69% alors que celle des couches rugueuses est de 51%.

Les chercheurs ont aussi étudié le rôle des pigments dans la réflexion solaire et ils ont constaté que l'ajout de l'oxyde de chrome (un pigment) qui se caractérise par une forte réflexion des rayons infrarouges aux bardeaux d'asphaltes verts a augmenté leur pouvoir de réflexion qui était de 14% à l'état normal à 50%. Un autre pigment a fait ses preuves en matière de réflexion c'est l'hématite. En ajoutant à la tuile rouge, cette dernière présente plus de réflexion 33% au lieu de 18%.

(Prado, Ferreira et Coll. 2004) ont découvert à travers les résultats d'une étude expérimentale concernant la mesure de l'albédo et les propriétés optiques de certains matériaux utilisés pour la construction des toits au Brésil, que les matériaux métalliques non revêtus présentent les meilleures performances de réflexion dans la région UV, avec des valeurs de l'ordre de 70%, alors que les matériaux métalliques enduits ont révélé la pire performance.

Dans le domaine du visible, qui représente près de 46 % du rayonnement solaire, les matériaux métalliques ont montré une autre fois de bonnes performances, parmi lesquels les aciers inoxydables ainsi que les échantillons enduits en blanc qui ont montré la plus forte réflexion qui atteint environ 78 %, tandis que les matériaux métalliques sans revêtement ont montré des résultats autour de 70 % pour cette gamme. Les céramiques blanches ont montré elles aussi de belles



performances parmi les matériaux non métalliques avec des valeurs de réflexion autour de 53%, alors que le pire résultat a été constaté avec la couleur gris foncé du ciment résiné qui présente des valeurs de réflexion de 11%.

Dans la bande infrarouge les matériaux métalliques non revêtus (aluminium et le zinc naturel) ainsi que la céramique rouge et blanche ont montré les plus hautes valeurs de réflexion pour la gamme infrarouge avec des valeurs de l'ordre de 70 % alors que les matériaux métalliques enduits présentent des valeurs de réflexion inférieures à 60 %, à l'exception des tuiles thermo-acoustiques en céramique blanc, qui ont montré des valeurs autour de 63% pour cette gamme. Les ciments de couleur gris claire et les matériaux construits en fibrociments ont montré des valeurs plus faibles, autour de 40 %, le ciment gris foncé avec résine colorée est le matériau qui a montré le pire résultat, environ 10 %.

Enfin, il a été conclu que les céramiques rouges et blanches étaient les seules matières parmi celles qui ont été mesurées, qui avait atteint des températures de surface inférieures à celles de l'air, lorsqu'elles étaient exposées à des conditions climatiques prévues pour l'expérimentation et avec un albédo avoisinant les 68%. D'autre part, les matériaux métalliques qui ont des performances similaires à celles de la céramique blanche et rouge, avec des valeurs de l'albédo autour de 55% ont atteint des températures de surface beaucoup plus élevées. Cela est dû à la faible émissivité des matériaux métalliques sans revêtement, qui émettent peu de rayonnement thermique.

1.2.1.2 Les toitures jardins

De nombreux chercheurs (**Takakura et Coll. 2000, Matsumoto et Coll. 2000**), se sont concentrés sur la technologie des toits verts pour réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain, et réduire ainsi la charge de refroidissement des bâtiments. Les résultats de leur recherche montrent bien que l'évapotranspiration des toits plantés de façon satisfaisante peut réduire la température de surface ainsi que les températures ambiantes environnantes et limiter le flux de chaleur dans les bâtiments, et donc diminuer la charge de climatisation. Le suivi des données météorologiques et d'autres moyens, c'est-à-dire la simulation informatique, ont dévoilé qu'après l'adoption d'un système de toit vert, le microclimat autour des bâtiments a été modifié et amélioré.

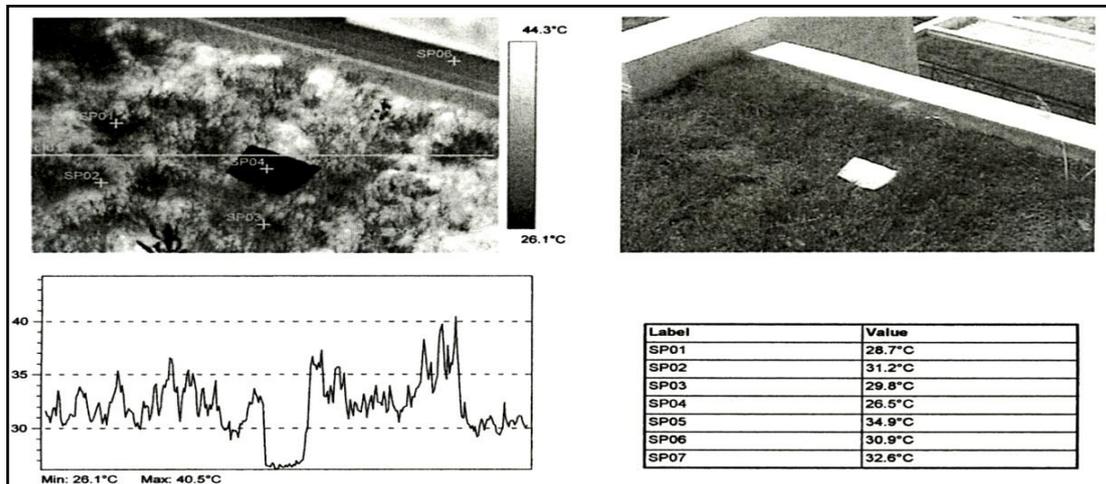
Une recherche expérimentale a été menée par (**Niachou et Coll. 2001**), pour étudier l'impact des toitures jardins sur le microclimat intérieur et extérieur ainsi que sur l'économie d'énergie dans les bâtiments où sont localisées ces toitures. Les résultats ont montré que:

- La température de surface des toitures végétales varie en fonction des différents types de végétation. Les températures les plus basses ont été mesurées dans les espaces qui sont couverts par une végétation épaisse de couleur verte foncée ainsi que par les végétations qui poussent verticalement. La végétation rouge et le sol nu ont eux aussi donné des bons résultats.
- Toujours dans la période d'été et dans le même lieu d'expérimentation, les chercheurs ont constaté que la température de l'air mesurée dans les espaces intérieurs couverts par des toitures végétales ne dépasse pas la valeur de 30 C°. Cependant, la température de l'air dans



les bâtiments sans toiture verte est supérieure à 30 C° ainsi que la température moyenne quotidienne qui est elle aussi supérieure à cette valeur.

- Les chercheurs ont constaté aussi que les toitures végétales présentent des résultats performants en matière d'isolation thermique.



Variation de la température des toitures jardins en fonction de la densité de l'herbe et de sa couleur (Niachou et Coll. 2001).

(Sailor et Coll. 2008) mettent au point une base de données des propriétés thermiques de nombreuses toitures vertes dans le cadre d'une vaste gamme de conditions d'humidité. Les propriétés mesurées dans le cadre de cette étude ont été : la conductivité thermique (k), la capacité thermique spécifique (Cp), la réflectivité en courtes longueurs d'ondes, l'émissivité en grandes longueurs d'ondes. On mentionne ici que les types de végétation et l'épaisseur des toits n'ont pas été pris en considération.

La première tâche dans le processus de conception expérimentale a été de déterminer les échantillons de sol des toitures vertes qui seront testés.

Le sol des toitures vertes se compose généralement de trois éléments: des agrégés Minéraux (pierre ponce, schiste), le compost et le sable. La composition varie suivant la proportion, le type d'agrégat, le type du compost, mais le consensus général est que la composition des sols varie selon les régions et le design des toitures vertes.

Les résultats de l'expérimentation ont démontré que les valeurs d'albédo de surface enregistrent une décroissance exponentielle en fonction de l'augmentation du niveau d'humidité est aussi en fonction de la composition du sol. Les grands valeurs en été observées dans les sols secs à base de pierre ponce, de sable et de faible pourcentage de compost, allant de 0,38 à 0,41.



À 60 % d'humidité la plupart des sols ont perdu plus de la moitié de leur valeur d'albédo, les sols à base de pierre ponce ont connu une réduction de leur albédo passant de 0,40 à environ 0,15, alors que pour les sols à base de schiste les valeurs d'albédo passent de 0,18 à 0,07.

1.2.1.3 Les toitures couvertes par des matériaux poreux

Bien que l'utilisation de la végétation donne d'importants avantages en termes environnementaux, ces systèmes présentent d'un autre côté plusieurs inconvénients. Leur coût d'installation et de maintenance est très élevé (arrosage et remplacement des plantes). En termes de structure du bâtiment et afin de tenir compte de certains types de systèmes de toits verts, un soutien structurel renforcé est nécessaire, pour assurer une capacité suffisante de résister aux poids et à la charge du sol végétalisé.

Cependant, beaucoup de travaux sur le choix des matériaux adéquats pour les surfaces du toit ont été fait à ce jour. Parmi ces travaux on mentionne celles mené par **(Surakha, Wanphen et Coll.2008)** pour mesurer la quantité d'absorption et la vitesse d'évaporation dans plusieurs types de matériaux poreux de couverture, avec différentes tailles de particules poreuses expérimentées sous des conditions saturées et sèches. Quatre matériaux ont été utilisées pour cette recherche. Il s'agit du schiste siliceux, cendre volcanique, le sable de silice et la pierre.



De gauche à droite : schiste siliceux, sable, pierre, roche volcanique

Matériaux testé (Surakha et coll. 2008)

Il s'est avéré que le sable de silice libère une grande quantité de chaleur latente par rapport aux particules poreuses où les actions capillaires sont considérablement réduites.

La capacité thermique des grosses particules de surface est devenue plus élevée lorsque les particules de surface deviennent plus sèches. Comparés à ceux des échantillons de petite taille. Les particules de grande taille ont tendance à sécher plus rapidement. Ce phénomène a conduit à une conclusion, que l'albédo des échantillons de grande taille est plus faible que celui des petites particules.

Les résultats ont montré aussi que l'évaporation de la surface de toiture et celles des matériaux poreux ont conduit à une meilleure réduction de la température de surface, par rapport aux matériaux classiques des toits (mortier et béton).

Il s'est avéré aussi que les pierres en schistes siliceux ont obtenu les meilleurs résultats de réflexion des rayons solaires par rapport aux autres matériaux indépendamment de leurs propriétés d'absorption d'humidité.



Enfin, les résultats ont montré que les grosses particules de schiste siliceux présentent les meilleures performances dans la réduction de la température de surface, leur capacité de refroidissement est comparable à celles des toitures vertes de plante ou de sedum. Le taux d'absorption de l'évaporation a été introduit. Il est clair que le schiste siliceux et le sedum fournissent relativement des valeurs élevées de ce ratio, ce qui conduit à de bonnes performances dans la réduction de la température de surface moyenne journalière de 8,63 et 9,08 C° respectivement.

Les toitures couvertes par des panneaux photovoltaïques

Des recherches ont été menées par **(Golden et Coll. 2007)** Le but de ces investigations est d'examiner si l'utilisation des panneaux photovoltaïques (PV) constitue un moyen efficace de couverture dans les parcs de stationnement, pour la diminution de la température des surfaces de la chaussée, à la fois pendant le jour et la nuit. Pour cela un projet de recherche a été entrepris pendant l'été de 2004 pour évaluer deux stratégies de diminution de la température des surfaces de chaussée de stationnement dans la région de Phoenix, Arizona, U.S.A. La première stratégie d'atténuation consiste à étudier l'effet de la végétation urbaine sur la température des pavés. La deuxième comprend l'utilisation des panneaux photovoltaïques comme une possibilité viable et ingénieuse comme option d'atténuation de la température dans les parkings.



Photo aérienne du site des parkings utilisé dans la recherche Phoenix, Arizona, U.S.A. (Golden et Coll. 2007)

Les résultats de cette recherche montre que les surfaces protégées par un auvent de PV réalisent une réduction de la température de surface de (13,2 C°) par rapport aux surfaces adjacentes entièrement exposées alors que les surface couvertes de végétation urbaine permettent une réduction maximale de (6,2C°) par rapport aux surface mitoyennes exposé.

1.2.2 Les matériaux des façades

Le deuxième facteur qui a une forte influence sur l'albédo équivalent et la réflexion des matériaux des façades. A ce sujet plusieurs recherches on été menées afin d'évaluer les éventuels avantages énergétiques et environnementaux des surfaces à fort pouvoir de réflexion.

(Doulos, Santamouris, Livada, 2004) ont constaté après analyse comparative des propriétés thermique de 93 échantillons, que les caractéristiques physiques des matériaux qui touchent à l'albédo sont la couleur, la texture des surfaces ainsi que la nature des matériaux de construction.

Ils sont constaté après analyse des matériaux en fonction de leur matière de construction, que les carreaux de marbre, de mosaïque et de pierre ont été plus froids que l'asphalte, le gravier, et les



revêtements en pierre. En outre, une analyse des matériaux on fonction de leur texture à montré que les tuiles de surface plane et lisse étaient plus fraîches que les tuiles de surface rugueuse et irrégulière.

Enfin, les résultats de l'étude d'impact de taille ont démontré que pour les tuiles qui présentent le même matériau de construction, la même couleur et de texture de la surface uniforme, mais de caractéristiques géométries différentes (taille et l'épaisseur de surface), que les différences de températures de surface ne sont pas statistiquement significatives particulièrement pendant la période diurne.

(Akira Hoyano et Coll. 1997) ont constaté que les bâtiments en béton armé développent une forte corrélation avec le phénomène d'îlot de chaleur. D'après les auteurs cela peut être dû aux caractéristiques du revêtement des structures bâties. D'autre part, la faible corrélation des bâtiments en structure de bois avec le même phénomène et due probablement à d'autres paramètres qui n'ont pas été identifiées par les chercheurs.

(Levinson, Akbari et Coll. 2002) ont montré que la réflexion du béton lisse à base de ciment blanc était de 0,18 à 0,39 supérieure à celui du béton lisse à base de ciment gris.

Les résultats des travaux menés par **(Tsangrassoulis, Santamouris et Coll. 2002)** en montrant que l'albédo urbain diminue de 80% lorsque le rapport fenêtre/mur augmente, Cet effet est plus prononcé dans le cas où la hauteur solaire est de l'ordre (30°) et le ratio (H/W)=2. L'augmentation de la hauteur du soleil à 70 ° fait aussi augmenter l'albédo de 53%.

1.3 Les revêtements urbains

(Taha et Coll. 1997) ont constaté que les ruisseaux et les bassins d'eau provoquent la diminution de l'albédo. Et que la végétation peut elle aussi réduire la température de l'air dans les rues de 2 C°. A l'échelle régionale, les simulations ont montré que le reboisement à grande échelle en milieu urbain peut être tout aussi efficace dans la réduction de la température de l'air que l'utilisation de matériaux de haut albédo. Les parcs urbains réduisent eux aussi la température dans les zones environnantes, jusqu'à 2,5 °C plus froides que les zones où il n'existe pas de parc.

(Kinouchi et Coll. 2004) ont développé un nouveau type de chaussée qui donne satisfaction avec un albédo élevé et une faible luminosité basée sur l'application d'un nouveau revêtement de peinture sur l'asphalte conventionnel. La structure et le revêtement des pigments utilisés sont efficaces dans la réalisation de faible réflectivité dans la partie visible du spectre (23 %) et proche infrarouge haute réflectivité (86 %). Les mesures de terrain montrent que la température maximale de la chaussée avec peinture est d'environ 15 C° inférieure à celle de la chaussée avec asphalte conventionnel.



*Les dalles végétales utilisées
comme revêtement des
parkings, Route de Vannes,
Nantes, France*



D'autres nouveaux types de revêtements de sol (dalles végétales) utilisé notamment comme couverture des parkings présentent de nombreuses satisfactions avec un albédo assez élevé assimilable à celui des toitures jardins et constituent un appui au rafraîchissement de la température des chaussées. Elles constituent une véritable alternative aux autres matériaux conventionnels comme le bitume et la pierre qui participent à l'accentuation du phénomène d'îlot de chaleur urbain.

1.4 Dégradation des matériaux

La dégradation des matériaux par les phénomènes climatiques influe beaucoup sur les propriétés solaires et thermiques de ces derniers, il est très important d'étudier l'impact de cette dégradation et de voir quelles sont les solutions.

Une étude expérimentale et numérique a été menée par **(Levinson, Akbari, 2002)** sur les variations de la composition et de l'exposition environnementale du béton de ciment portland et l'influence de ces paramètres sur la réflectivité de ce dernier.

Les études ont montré qu'après le coulage, l'augmentation de l'albédo du béton et en corrélation avec le processus d'hydratation du ciment (augmentation moyenne de 0,08) jusqu'à la stabilité qui se réalise après six mois. Les résultats ont démontré aussi que la composition du béton, son vieillissement et aussi son exposition climatique modifiait notablement son albédo. En ce qui concerne l'exposition environnementale, il a été constaté que les intempéries, les salissures, et l'abrasion réduisaient l'albédo moyen du béton (moyenne diminue 0,06, 0,05 et 0,19, respectivement). On note aussi que le mouillage du béton par l'eau de pluie a fortement diminué l'albédo (diminution moyenne de 0,23) jusqu'à ce que leurs surfaces soient sèches.

Les résultats de l'impact du souillage (soiling) sur les membranes de toitures en PVC ont montré que le nettoyage partiel effectué par l'utilisation de l'eau et du savon est efficace, il s'est avéré aussi que l'eau de Javel est efficace pour éliminer les taches résiduelles. **(Levinson, Berdahl, Berhe, Akbari, 2005b)**

L'effet de l'élévation de la température, dégradation par photo oxydation causée par l'absorption des rayons ultraviolets, l'impact de l'humidité, de la souillure ont été étudiés par **(Berdahl, Akbari, Levinson, Miller, 2008)** sur les matériaux de toitures. L'investigation a été étendue pour étudier l'impact du souillage sur les matériaux de toiture, « Souillage est attribué à la croissance biologique (par exemple, les cyanobactéries, champignons, algues), les dépôts de particules minérales et organiques, et à l'accumulation de cendres volantes, des hydrocarbures et de la suie Combustion ».

Il a été montré aussi que l'absorption des rayons ultraviolets provoque la dégradation des polymères et autres matériaux par la photo dégradation, et casse de nombreuses liaisons chimiques procédant à des réactions chimiques avec l'oxygène atmosphérique et / ou la vapeur d'eau, en particulier dans les matériaux organiques. Par exemple, les matières plastiques, le bois... Les chercheurs recommandent une stratégie d'extension de durée de vie des polymères en ajoutant des absorbeurs



d'UV. Deux pigments inorganiques absorbeurs d'UV sont recommandés, il s'agit du noir de carbone et le dioxyde de titane blanc TiO₂.

Pour les membranes (PVC) des toits, trois types d'additifs sont utilisés pour améliorer leur stabilité en ajoutant soit des pigments absorbent les UV, tels que le noir de carbone ou le dioxyde de titane blanc ou des composant organiques tels que les triazines benzophénone et hydroxyphényl

L'efflorescence est l'apparition des taches pâles sur les surfaces des matériaux poreux. Elle est causée par des infiltrations d'eau ou la diffusion à travers le matériau. Les sels décomposés sont transportés par l'eau, ils se déposent sur la surface lorsque l'eau s'évapore. D'après les chercheurs **(Berdahl, Akbari, Levinson, Miller, 2008)**, Ces dépôts blancs peuvent être évités par l'utilisation d'un revêtement polymère qui scelle la surface. Alternativement, les dépôts peuvent être éliminés par lavage à l'acide dilué.

Une palette des couleurs exposées par plusieurs fabricants dans le sud de la Floride à fait l'objet d'une étude par les chercheurs. Cette recherche prouve que les revêtements à base de PVDF (**Le poly fluorure de vinylidène**) sont très résistants aux souillures climatiques comme en témoigne la perte marginale de leur réflexion solaire (moins de 5%) pour une exposition entre 15-35 années.

Les biocides (Ces produits sont généralement commercialisés pour lutter contre des pathogènes et micro-organismes non désirés. Si le mot est utilisé comme qualificatif, une définition élargie englobe par exemple les micro-ondes, les UV, les Rayons X ou le chauffage dont on dira qu'ils ont un effet biocide). Sont souvent inclus dans la formulation des matériaux polymères tels que le PVC. À titre d'exemple, le composé OIT (2-n-octyl-4-isothiazolin-3-one) est utilisé commercialement à cette fin. Les concentrations de l'ordre de 10 ppm pour empêcher la croissance d'un certain nombre de champignons.



Conclusions :

Les principaux résultats dégagés de ces études expérimentales et numériques sont :

1. Les peintures blanches et les revêtements blancs ont un pouvoir de réflexion supérieure à celui des autres couleurs, jusqu'à 90% plus supérieurs que celui des peintures noires. **(Synnefa, Santamouris, Livada, 2005) ;**
2. La rugosité des surfaces des matériaux diminue fortement la réflexion de ces derniers. **(Berdahl, Bretz et Coll. 1997) ;**
3. La couleur, la densité de la végétation ainsi que la compositions des toitures jardins sont des facteurs très importants dans la réflexion de ces toitures, les recherches ont montré que les sols sec à bas de pierre ponce, de sable et de faible pourcentage de composte ainsi que les toitures avec des végétations épaisses de couleurs vertes foncé présentent les meilleurs résultats. **(Niachou et Coll. 2001), (Sailor et Coll. 2008) ;**
4. Les toitures couvertes par des matériaux poreux tels que les sables schistes siliceux ont une capacité de refroidissement comparable à celle des toitures vertes de plante ou de sedum. **(Surakha, Wanphen et Coll 2008) ;**
5. Certains pigments (l'oxyde de chrome, l'hématite) jouent un rôle très important dans l'augmentation de la réflexion solaire des matériaux, notamment ceux qui sont considérés comme des matériaux chauds (bardeaux d'asphaltes, les peintures noires, tuiles de couleurs sombres). **(Berdahl, Akbari, Levinson, Miller, 2008)**
6. La dégradation des matériaux par les phénomènes climatiques influe beaucoup sur les propriétés solaires et thermiques des matériaux, plusieurs solutions par les chercheurs ont été proposées pigments absorbeurs d'UV, lavage par eau de javel ou par des acides dilués...) **(Synnefa, Santamouris, 2007), (Berdahl, Akbari, Levinson, Miller, 2008).**



2. Facteurs liés à la forme géométrique urbaine

2.1 Le facteur de vue de ciel (SVF)

(Dupagne, Teller) définissent le facteur de vue de ciel comme le rapport de la surface sphérique de ciel dégagé au dessus d'une place ou d'un bâtiment à celle de la demi-sphère de référence au lieu d'observation.

Le facteur de vue de ciel est un paramètre sans dimension qui permet de mesurer tous les points de la surface qui voient le ciel. Ces points qui sont en général dans la partie supérieure des rues canyons et qui sont plus ouverts vers le ciel ont une capacité de refroidissement quatre fois supérieure à celles des surfaces dans les parties basses des canyons urbaines (Oke, 1988).

Pour une surface horizontale avec un horizon dégagé et complètement ouverte vers le ciel, son facteur de vue de ciel (ψ_{se}) = 1,0. Alors que, $(1 - \psi_{se})$ correspond aux surfaces qui sont entourées par des obstacles et qui ne voient plus tout les fractions de ciel.

Le facteur de vue du ciel peut être directement lié au rapport H/W (hauteur sur largeur) ratio pour les simples canyons dont nous discutons.

Le facteur de vue de ciel d'un point au centre du sol d'une rue canyon s'exprime par la relation suivante :

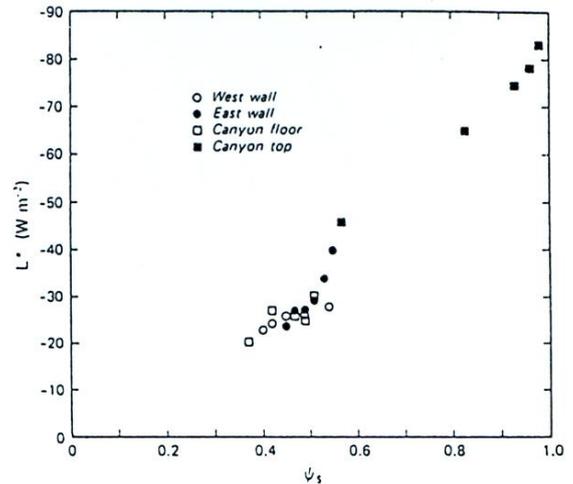
$$\psi_{se} = (1 - (\psi_{w1} + \psi_{w2}))$$

Dans le facteur de vue de chaque point s'exprime par la relation :

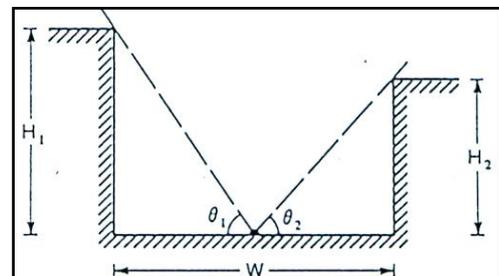
$$\psi_w = (1 - \cos \theta) / 2 \quad \text{et} \quad \theta = \tan^{-1}(H/0.5W)$$

Pour les canyons avec des sections symétriques, le facteur de vue de ciel s'écrit de façon plus simplifiée $\psi_{se} = \cos \theta$. Qui constitue un rapport approximatif des mesures suivantes:

H/W	0	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
θ	0°	27°	45°	63°	76°	81°	83°
ψ_{se}	1.00	0.89	0.71	0.45	0.24	0.16	0.12



Valeurs du bilan radiatif net (L) en fonction des valeurs calculées de facteurs de vue de ciel ψ_{se} pour une rue canyon (Oke, 1988)



La géométrie d'une rue canyon asymétrique entourée de bâtiments étirée (Oke, 1988)

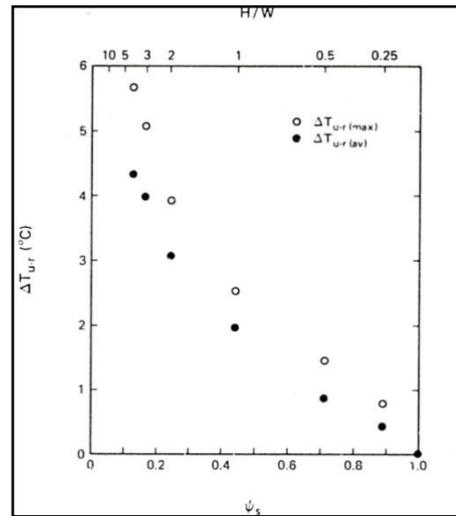


Le facteur et exprimée aussi par une autre formule proposée par (Oke 1987) :

$$\Psi_{se} = \cos \left(\arctan \frac{2H}{W} \right)$$

(Oke, 1981) exprime de façon plus générale l'écart de température ΔT_{urMAX} en fonction de Ψ_{se} , quelle que soit la géométrie de la rue.

$$\Delta T_{urMAX} = 15,27 - 13,88 \Psi_{sky}$$

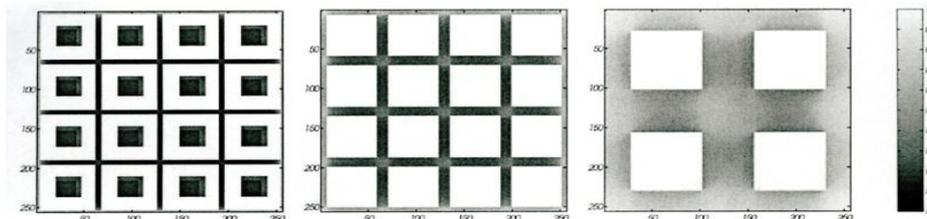


La relation entre intensité de l'îlot de chaleur, facteur de vue de ciel, et le rapport H/W (Oke 1981)

Des études ont été mené par (Ratti, Raydan, Steemers, 2003) afin de mesurer et d'analyser le facteur de vue de ciel sur trois types des tissus urbains. Le premier correspond à une maison traditionnelle de style musulman avec une un patio au centre de la maison. Le deuxième prototype (pavillon"1") consiste à remplacer chaque cour urbaine avec un bloc central tout on préservant la hauteur des maisons qui est de 9 m. Le troisième prototype (pavillon"2") représente une importante intervention de régénération urbaine, avec l'intégration de quatre parcelles de cour urbaine en un seul bloc.

Les résultats du facteur de vue de ciel pour l'ensemble des prototypes ont été classés par ordre croissant: la cour (0,13), pavillon (1) (0,23) et le pavillon (2) (0.48).

Une observation préliminaire des résultats a montré une différence de la température maximale entre les différents prototypes (8,6°C pour le pavillon 2, comparativement à 12,1°C pour pavillon 1 et 13,5°C pour le modèle de la cour). Suggéreront pour minimiser le phénomène d'îlot de chaleur urbaine d'ouvrir l'espace urbain avec un facteur d'ouverture au ciel plus grand.



Facteur de vue de ciel des rues pour les modèles étudiées (Ratti et coll. 2003)



(Kondo et Coll, 2001) ont montré que le facteur de vue de ciel de la surface du sol diminue avec l'augmentation de la hauteur et la densité des bâtiments. En outre, le facteur augmente avec la largeur et l'ouverture de l'espace ainsi que par l'uniformité de la distribution de la hauteur des bâtiments.

2.2 Rapport hauteur/ largeur (H/W)

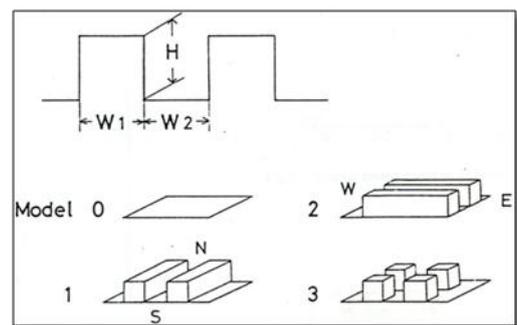
L'intensité du phénomène d'îlot de chaleur est, en conséquence, plus importante dans les tissus urbains denses. Une étude a été menée par (Oke 1987) sur 30 villes américaines et européennes de moyennes latitudes à montré que la morphologie d'un tissu urbain influe beaucoup sur l'accentuation de l'îlot de chaleur urbain. Il propose une corrélation entre les écarts observés ΔT_{urMAX} et le rapport H/W (rapport hauteur sur largeur) des rues de types canyons et aussi avec le facteur de vue de ciel des géométries.

$$\Delta T_{urMAX} = 7.54 + 3.97 \ln (H/W)$$

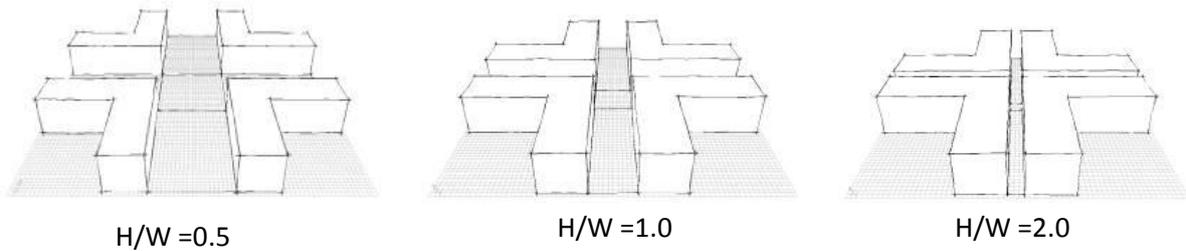
Des études expérimentales ont été entreprises par (Aida 1982a, Aida et Gotoh 1982b) pour estimer le changement de l'albédo en fonction des formes géométriques urbaines sur des maquettes bidimensionnelles.

Les résultats montrent que l'augmentation des irrégularités dans les tissus urbains fait diminuer l'albédo. La forme géométrique des rues canyons a un effet considérable sur l'albédo des surfaces notamment le rapport hauteur/largeur (H/W). Plus ce rapport est petit, plus l'albédo augmente. Les résultats ont révélé aussi une augmentation de l'absorption des rayons solaires de 13 à 27% lorsque le rapport (H/W) passe de 0,5 à 2.

Modèles	Dimensions		Albédo moyennes	Absorption incrément (%)
	H/W	W ₁ /W ₂		
00	0	—	0.40	—
01	1	1	0.29	18
02	1	1	0.29	18
03	1	1	0.27	21
03a	0.5	0.5	0.31	13
03b	2	1	0.23	27

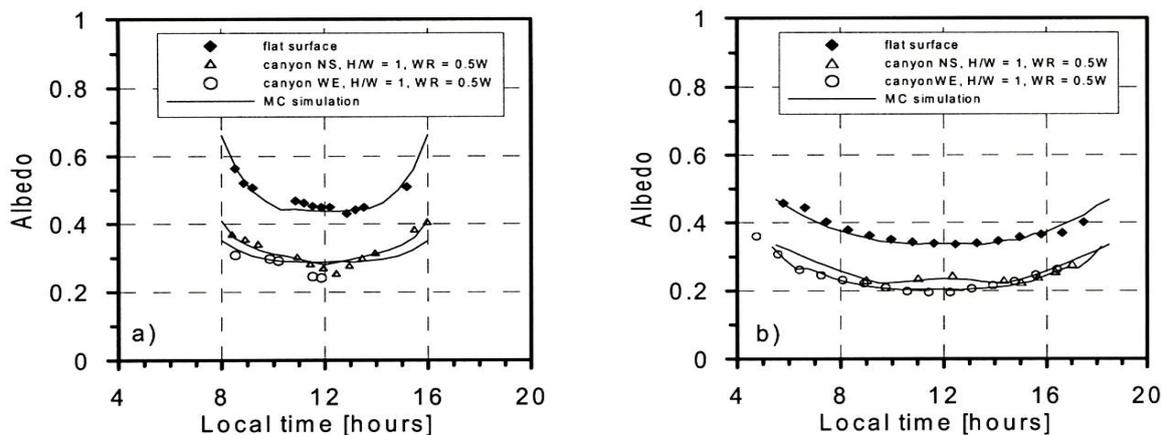


Les valeurs d'albédos moyennes durant une année (Aida1982a)



Différents modèles du rapport H/W (Bougiatioti, 2006)

Les recherches menées par **(Pawlak et coll. 2003)** ont montré que l'albédo effectif varie en fonction du rapport H/W. Lorsque ce dernier H/W = 1, le rapport de toit = 0,5 W et l'orientation de la rue et vers l'axe nord - sud avec une journée ensoleillée, les valeurs d'albédo sont à environ 15 à 20 % de moins par rapport à une surface horizontale avec un albédo égale 0.4. Par conséquent, plus le rapport H/W augmente, plus l'albédo effectif diminue. L'étude à montré que l'orientation des rues n'a pas une grande influence sur les valeurs d'albédo. On note quand même une petite augmentation d'albédo à midi pour les canyons N-S en comparaison avec celle de l'E-O au printemps.



Valeurs journalières de l'albédo effectif dans l'hiver 2002/2003 et printemps 2003

(Pawlak et coll. 2003)

Selon **(Oke, 1988)**, on peut contrôler le phénomène d'îlot de chaleur avec des petits changements dans les dimensions des rues canyons, notamment le rapport H/W. Dans les conditions d'îlot de chaleur idéales, un tiers de l'intensité maximale est possible avec un rapport H / W acquise de 0,4, une moitié avec 0,7 et deux tiers à 1,0.

Une synthèse a été effectuée sur l'impact des variations du rapport H/W par rapport aux conditions thermo-aérauliques et aux dispersions des polluants. Les résultats de cette investigation sont présentés dans le tableau ci-dessous:



La protection des vents	H/W = 0.65 H/W = 0.4	<ul style="list-style-type: none"> • Apporte une bonne protection du vent • Induit une faible interférence d'écoulements
Dispersion des polluants	H/W = 0.65	<ul style="list-style-type: none"> • Induit une dispersion convenable des polluants
L'accessibilité solaire	H/W = 0.5-2.0 H/W = 0.58	<ul style="list-style-type: none"> • L'absorption solaire est de 13-27% lorsque albédo de surface est égale à 0.4 • Est appropriée pour la latitude 45°
Gain de chaleur	H/W = 0.4 H/W = 0.7 H/W = 1.0	<ul style="list-style-type: none"> • Gain de chaleur est de 1/3 (par rapport à une situation de surface dégagée) • Gain de chaleur est de 1/2 • Gain de chaleur est de 2/3

Tableau de synthèse des relations existant entre proportion de la rue canyon et intensité d'îlot de chaleur. La rue canyon étudiée est semi-infinie, se trouve à la latitude de 45° nord orienté nord sud.

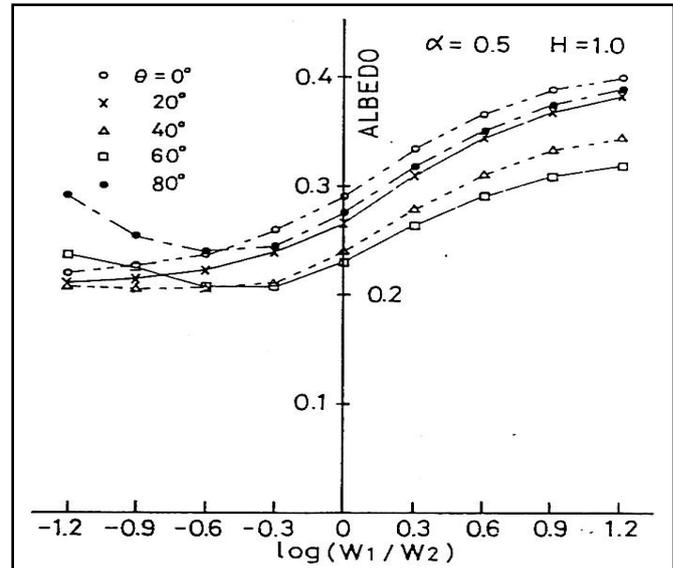
(Source Tiraoui.I)

2.3 La densité surfacique

C'est un indicateur qui rend compte de l'occupation des constructions (densité bâtie), il correspond au rapport entre la surface des toitures et la surface du terrain. Il est compris entre 0 et 1. Il interroge aussi bien la question de l'espace, que celle de concentration, il interfère avec plusieurs problématiques économiques liées aux infrastructures urbaines, aux préoccupations climatiques urbaines (îlot de chaleur urbain, minéralisation ou végétalisation des surfaces). (Dupagne, Teller)

Une étude par (Boukezer) a été menée sur trois modèles de quartier de la ville d'Oran. Un modèle organique, un modèle en damier et un modèle aléatoire. Les études ont montré que la densité surfacique des bâties agit beaucoup sur la quantité d'énergie absorbée par les bâtiments.

Les études dirigés par (Aida et Gotoh, 1982b) concernant l'estimation du changement de l'albédo en fonction du rapport logarithmique toit/rue **LOG (W1/W2)**, ont montré que plus le rapport et



Changements de l'albédo en fonction du rapport logarithmique **LOG (W1/W2)** (Aida, 1982b)



grand plus l'albédo augmente. Les résultats ont montré aussi que lorsque le rapport H/W est tenu constant, l'albédo diminue lorsque LOG (W1/W2) passe de - 0.3 à - 0.6.

Enfin, il faut préciser que ces résultats restent validés pour des toitures de formes horizontales et des hauteurs de rue constantes.

Toutefois, pour une plus grande densité, il y'a une plus grande quantité de matériaux d'enveloppe imperméable avec des valeurs d'émissivité plus élevée, le stockage de la chaleur va donc augmenter, il est très important donc de prendre en considération l'émissivité et la réflectivité de ses matériaux.

2.4 La compacité

(Dupagne, Teller) définissent la compacité comme un paramètre eulérien simple mais composite. C'est un outil d'analyse de l'espace urbain qui fournit des informations significatives et permet de faire des comparaisons avec d'autres références urbaines.

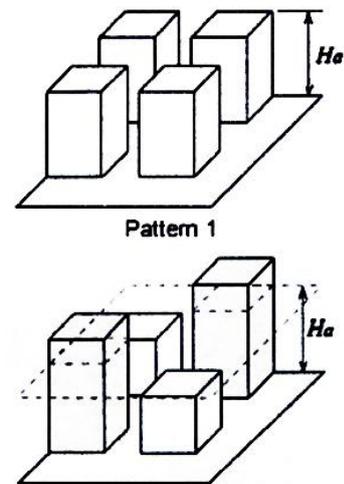
La définition que proposent les deux chercheurs présente la compacité comme le rapport du volume de la boîte au volume de la sphère équivalente (c'est-à-dire celle disposant de la même surface enveloppe que la boîte).

Si on compare cette définition avec les résultats d'autres études concernant l'impact de la configuration urbaine sur l'albédo des surfaces présentée précédemment on s'aperçoit que la compacité joue un rôle assez important dans la diminution de l'albédo. En fait, plus la compacité augmente, plus les rayons solaires incidents subissent des réflexions notamment dans les rues. Ce constat augmente le piégeage et l'absorption par les parois, diminuant ainsi l'albédo.

D'autre part, si la compacité est grande et le tissu urbain présente des irrégularités, les valeurs d'albédo sont réduites.

L'analyse d'impact des configurations urbaines sur le flux radiatif net a été étudiée par (Kondo et coll. 2001). Les résultats de cette investigation ont montré que les valeurs d'albédo diminuent progressivement avec l'augmentation et l'uniformité de la hauteur des constructions et augmentent lorsque les immeubles sont de faibles et de hauteurs homogènes. (Chimklay et Coll. 2001) ont constaté que les variations de la hauteur des formes urbaines (rugosité) jouent un rôle très important dans la diminution de l'albédo.

(Tsangrassoulis, Santamouris, 2002) ont montré que l'albédo total d'une forme urbaine ne dépend pas seulement des coefficients de réflexion des matériaux mais aussi de l'agencement géométrique de celle-ci.



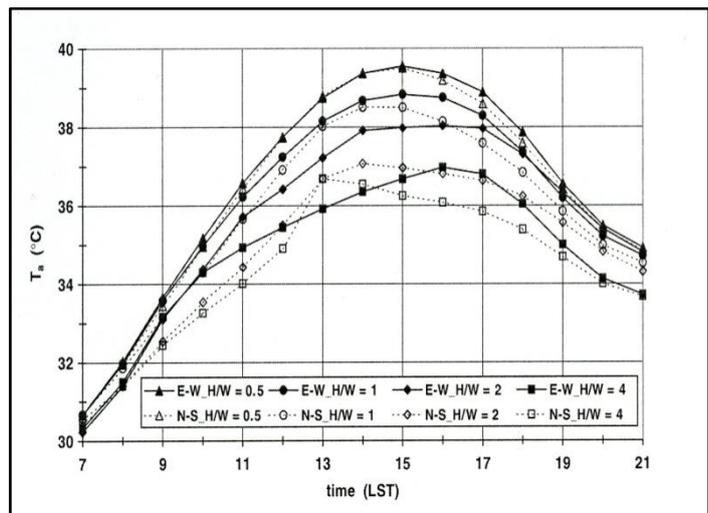
Les configurations urbaines utilisées dans l'étude (Chimklay et Coll. 2001)



3. Les facteurs Spatial

3.1 L'orientation

Des études menées par (**Fazia Ali-Toudert, Helmut Mayer, 2006**) sur la contribution du rapport d'aspect hauteur-largeur H/W, et l'orientation solaire sur confort thermique à l'échelle d'une rue canyon. L'enquête a été réalisée en utilisant un modèle numérique 3D de calcul (ENVI-met), qui simule les changements microclimatiques dans les milieux urbains dans une haute résolution spatiale et temporelle. Les simulations ont été effectuées pour une journée d'été typique à Ghardaïa, Algérie (32.40°N, 3.80°E), une région qui se caractérise par un climat chaud et sec. Les résultats de la recherche ont montré que la durée de l'inconfort thermique, ainsi que la distribution spatiale des valeurs P.E.T (la température physiologique équivalente) dans une rue canyon, varie en fonction de rapport d'aspect d'orientation et de la rue.



Variation de la simulation de la température de l'air T_a à 1.2 m de sol au milieu d'une rue canyon avec différents rapport d'aspect $H/W=0.5, 1, 2$ et 4 orienté E-W et N-S, Ghardaïa, Algérie. (**Fazia Ali-Toudert, Helmut Mayer, 2006**)

- Lorsque le rapport d'aspect de la rue et de $H/W=0.5$, le confort thermique urbain est presque indépendant de l'orientation et ne dépend que du rapport d'aspect, (d'après les auteurs dans ce cas, une orientation E-W est recommandée pour ce rapport).
- Les meilleurs résultats qui fournissent un bien meilleur environnement thermique et une baisse des maxima de P.E.T, ont été constatés lorsque le rapport $H/W = 4$ et une orientation N-S de la rue par rapport aux autres résultats, exception faite pour le pic enregistré à 13 heures.
- Avec le même rapport d'aspect, l'orientation E-W présente elle aussi des bons résultats notamment entre 11 et 14 heures ou les chercheurs ont enregistré les meilleurs résultats du confort thermique pour cette étude.
- On note aussi les bons résultats constatés lorsque $H/W=2$ avec une l'orientation N-S de la rue. Ces bons résultats ont été enregistrés entre 8 heures et midi.



4. les facteurs Spatio-temporels

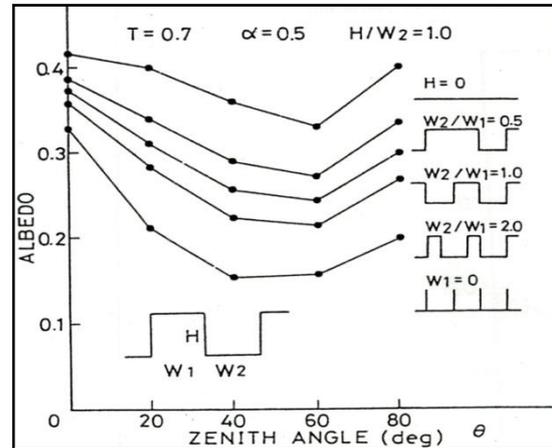
4.1 La hauteur solaire

(Aida, 1982a) a constaté que la hauteur solaire joue un rôle assez important dans la réflexion des rayons solaires incidents, la diminution de l'albédo a été observée lorsque le soleil se situe dans l'intermédiaire du zénith entre 40° et 60°, cependant avec des matériaux à forte pouvoir réflexion les chercheurs en constaté que la hauteur solaire joue un rôle secondaire. (Kondo et coll. 2001) a remarqué que lorsque la hauteur solaire est élevée, la valeur de l'albédo est élevée, Indépendamment de la valeur d'albédo des surfaces construites. Tandis que lorsque la hauteur solaire est faible, la valeur de l'albédo est faible dans le cas où les surfaces des bâtiments présentent des valeurs d'albédo faibles.

Il s'agit d'une caractérisation des variations de l'environnement climatique basée sur la définition d'un indicateur morphologique

Les résultats de l'étude concernant l'impact des variations des saisons sur l'albédo conduites par (Pawlak et Coll. 2003) ont montré que l'albédo effectif mesuré en hiver était moins élevé que dans le printemps. En fait, l'augmentation de la hauteur solaire provoque une augmentation de l'albédo effectif. En dépit des différentes valeurs et dans tous les cas mesurés, il est apparu que les valeurs d'albédo effectif sont à leur maximum au midi et au minimum après le lever du soleil et avant le coucher du soleil. On précise à ce sujet que cette mesure varie en fonction de la latitude de la ville considérée.

Les chercheurs (Trangrassoulis et Coll., 2003) ont constaté aussi qu'il a une augmentation de l'albédo lorsque la hauteur solaire et de l'ordre de 70° et le rapport vitrage / mur passe de 0 à 0,1. Cela est dû d'après les hauteurs à l'augmentation du rayonnement qui atteint les surfaces horizontales (angle d'incidence élevé, c'est à dire augmentation de la réflexion).



La relation entre l'albédo et la hauteur solaire (Aida, 1982b)



Conclusions :

Les principaux résultats dégagés de ces études expérimentales et modélisations sont :

1. L'albédo dépend du facteur de vue de ciel ainsi que du rapport (H/W). Plus ce rapport est petit plus l'albédo augmente, les résultats ont révélé une augmentation de l'absorption des rayons solaires de 13 à 27% lorsque le rapport (H/W) passe de 0,5 à 2 (**Ratti, Raydan, Steemers, 2003**), (**Oke1988**) ;
2. Les valeurs d'albédo dépendent de l'orientation des géométries ainsi que du rapport H/W. plus ce rapport est grand, l'influence de l'orientation augmentent sur les valeurs d'albédo. Les résultats ont montré que lorsque le rapport H/W=4, ont avantage une orientation N-S. (**Fazia Ali-Toudert, Helmut Mayer, 2006**)
3. Les valeurs d'albédo diminuent progressivement avec l'augmentation et l'uniformité de la hauteur des constructions et augmente lorsque les immeubles sont de faibles est d'hauteurs homogènes. (**Chimklay et Coll. 2001**) ;
4. Les valeurs l'albédo dépend du rapport logarithmique toit/rue **LOG (W1/W2)**, les études ont montré que plus le rapport et grand plus l'albédo augmente (**Aida et Gotoh, 1982b**) ;
5. L'albédo augmente avec l'angle solaire zénithal. (**Pawlak et Coll. 2003**), (**Kondo et Coll. 2001**).



D. Les indicateurs :

Ce sont des outils d'aide à la décision, ils apportent une vision partielle et s'efforcent de ce fait d'être complémentaires avec les modèles descriptifs. Ces indicateurs sont fondés sur le développement de formules physiques simplifiées qui permettant la description et l'analyse des phénomènes radiatifs. De nombreux indicateurs peuvent être classés: indicateurs solaires, thermo-aérodynamiques et de confort. Dans cette étude nous nous intéressons seulement aux indicateurs liés au phénomène d'îlot de chaleur.

1. Indicateurs liés au phénomène d'îlot de chaleur :

Il existe plusieurs types d'indicateurs :

1.2 Indicateurs liés à la morphologie géométrique urbaine :

Qui ont pour but de faire comparaison entre la situation thermique des villes et des campagnes où entre fragments urbains. **(Oke 1987)** développent un indicateur qui corrèle l'écart de température de surface aux proportions des rues (rapport hauteur sur largeur H/W):

$$\Delta T_{\max \text{ urbain-rural}} = 7.54 + 3.97 \ln (H / W)$$

Autre indicateur bien connu a été présenté par **(Oke 1981)** et vérifiée dans un certain nombre de villes, portant le maximum de température entre les zones urbaines et rurales aux facteurs de vue de ciel :

$$\Delta T_{\max \text{ urbaine rurale}} = 15.27 - 13.88 \Psi_{\text{sky}}$$

Où, $\Delta T_{\max \text{ urbain-rural}}$ est la différence de température maximale et Ψ_{sky} correspond au facteur de vue du ciel.

1.3 Indicateurs liés à des paramètres physiques et mathématiques

Afin de prédire les écarts de température d'air entre une situation de départ (température station météorologique) et après transformation par les obstructions solaires, **(Swaid, 1993)** met en place un certain nombre d'indices dont le CTTC (cluster thermal time constant parameter). Il exprime l'inertie thermique d'un fragment urbain par rapport à sa forme :

$$CTTC = 8. \left(1 - \frac{FA}{S} + \frac{WA}{SA} \right)$$

FA: surface de plancher

WA: surface mur

S: surface parcelle



$$\Delta T_{\text{max urbain-rural}}(t) = \sum_{\lambda=0}^t \frac{m\Delta I(\lambda)}{h} (1 - \exp(-\frac{1-\lambda}{CTTC}))$$

m : Absorptivité solaire de surface

λ, t : Temps

$\Delta I(\lambda)$: Rayonnement solaire incident sur t les surfaces à temps (λ)

H : coefficient d'échange convectif

(Iino et Hyano, 1996) définissent l'indice HIP du potentiel d'îlot de chaleur (heat island potential). Cet indice exprime l'intensité d'îlot de chaleur de différents fragments urbains.

$$\text{HIP} = \frac{\int_{\text{all surface}} (T_s - T_a) ds}{A}$$

T_a : Température de l'air moyenne à l'échelle de la canopée urbaine (C°)

T_s : Température de surface (C°)

Ds : surface d'un élément de face (m²)

A : surface d'îlot (m²)

1.4 Indicateurs liée à des paramètres physiques et statiques

Oke (1973), A partir de données expérimentales, propose l'expression suivante pour relier l'écart de température maximale entre le milieu urbain et le milieu rural à la population (P) et à la vitesse du vent mesurée hors de la ville à une station de référence à 10 m du sol (U) :

$$\Delta T_{ur} = \frac{P^{0.27}}{4.04U^{0.56}}$$



Conclusions:

Dans le contexte de ce travail, nous avons répertorié un éventail large d'indicateurs rendant compte de plusieurs phénomènes ; tantôt de la morphologie comme la compacité, le facteur de vie de ciel, la densité surfacique et volumique et tantôt, physique comme l'albédo des surfaces, température des surfaces.

Nous remarquons que chaque indicateur à une influence sur un ou plusieurs indicateurs. En effet une forte densité minérale de l'espace peut également avoir une conséquence sur le facteur de vue de ciel visible.

Il ressort de cette recherche bibliographique qu'un phénomène physique peut être appréhendé par plusieurs indicateurs. Alors peut-on nous conclure qu'il existe un indicateur qui rend mieux compte d'un phénomène ou existe-il un indicateur qui peut rendre compte de tous les phénomènes abordés ? Et quand est-il de leur croisement ?

La réponse à ces questions nous oblige d'aborder une phase d'expérimentation et de validation. En faite, la pertinence et la crédibilité des indicateurs recensés ne peuvent être évalué qu'après expérimentation sur les tissus urbains.



Deuxième chapitre

L'expérimentation

« Mon devoir à moi, ma recherche, c'est d'essayer de mettre cet homme d'aujourd'hui hors du malheur, hors de la catastrophe ; de le mettre dans le bonheur, dans la joie quotidienne, dans l'harmonie. Il s'agira tout particulièrement de rétablir ou d'établir l'harmonie entre l'homme et son milieu. ⁴»

⁴Le Corbusier, *l'architecture pour émouvoir*. Jean JENGER. Edition Gallimard Arts, 2004, p 47



1. Présentation des deux quartiers

1.1. Evaluation et localisation des échantillons de tissu urbain

Pour l'application et la validation des indicateurs recensés dans la recherche bibliographique, deux tissus urbains vont faire l'objet de cette expérimentation. Il s'agit, de la première phase du projet Lyon Confluence (achevé en 2015) et celui de la cité jardin (Quartier Saint Blandine, résidences des années 70). Le choix de ces deux modèles représentatifs de la complexité urbaine est important et leur différence est indispensable pour réaliser une analyse pertinente.

Ces deux cas urbains sont localisés dans la même ville (agglomération de Lyon), afin de neutraliser les données physiques et pour mieux appréhender les particularités urbaines.

1.2. Le projet urbain Lyon – confluence

1.2.1. HQE Qualité de vie et Energie

« La presqu'île de Perrache, longtemps dédiée à l'industrie et aux transports, est entrée en mutation ; ce territoire stratégique se prépare à accéder au statut auquel sa situation centrale, au sud de la gare de Perrache, le destine : celui d'un centre-ville. Espace d'expansion métropolitaine, mais aussi composante majeure de la Porte Sud de Lyon, nœud de communication essentiel et, enfin, site fluvial à mettre en valeur, la Confluence est un territoire à forts enjeux pour le Grand Lyon. »

Gérard COLLOMB *Président du Grand Lyon*

A la rencontre des eaux du Rhône et de la Saône, en plein centre de Lyon, le quartier de la Presqu'île Perrache est le lieu de l'un des plus ambitieux projets urbains de centre-ville en France et en Europe. Conscientes des atouts de ce quartier pour l'avenir de la métropole lyonnaise, la Ville et la Communauté urbaine de Lyon (Grand Lyon) ont retenu son aménagement parmi leurs priorités. Depuis 1999, est officiellement lancée la phase opérationnelle du projet Lyon Confluence qui a pour but de réaménager complètement le sud de la presqu'île Perrache. Le projet Lyon Confluence intègrera toutes les composantes d'un centre ville : logements, bureaux, commerces, équipements culturels et de loisirs. Les espaces publics, parcs et espaces plantés, couvriront près du tiers de la superficie totale du projet (150 ha). Pour la métropole et vis-à-vis d'autres grandes villes, le projet est caractérisé par l'ambition de réunir, à la jonction des fleuves, deux grandes qualités d'urbanité, opposées et complémentaires. Le double défi consiste à constituer un tissu urbain de centre-ville contemporain, pluraliste, intense et attractif, tout en ouvrant celui-ci sur un remarquable système d'espaces d'agrément, de loisirs et d'évasion, parc et port. (www.lyon-confluence.fr)



Ce projet d'aménagement s'est fixé comme objectif majeur de reconquérir les friches industrielles et logistiques par la prise en compte de recommandations du développement durable. Le recours aux principes de la Haute Qualité Environnementale (HQE) rend la ZAC de Lyon particulièrement novatrice en la matière.

*Confluence du Rhône, Lyon, France.
Source : www.fleuverhone.com*



1.2.2. Les objectifs du projet

Dans la réalisation de sa première phase, sur les 13 hectares réservés à l'habitat, 77 000m² SHON (Surface Hors Œuvre Nette), les îlots A.B.C, ont été imaginés et programmés selon un cahier des charges spécifique édictant un ensemble de prescriptions HQE :

- En matière de confort et de qualité de vie : le confort visuel et l'éclairage naturel, la qualité de l'air, le confort thermique, le confort acoustique ;
- en matière d'énergie : la réduction des besoins énergétiques devra être de 40% et doit reposer à la fois sur la conception bioclimatique du bâtiment, sur l'isolation et sur la ventilation. Les énergies renouvelables couvriront 80% des besoins. Les sources d'énergie adoptées ici sont l'énergie solaire (en particulier pour l'eau chaude) et la biomasse (chaufferie bois Co-génératrice à l'échelle du lot). **(Dossier du permis de construire)**

1.2.3. Le projet urbain à long terme

Le projet imaginé pour cette pièce urbaine à l'articulation entre deux quartiers recherche volontairement une sobriété architecturale pour inspirer la tranquillité au cœur de Lyon Confluence.

Toute la conception se veut une réponse cohérente au double objectif de valorisation du rapport entre les logements et leur site d'une part, et l'obtention d'un bilan énergétique positif pour économiser des ressources naturelles et épargner des charges aux habitants.

Pratiquement, la stratégie repose sur cinq principes :

1. Créer un nouveau quartier en centre ville pour renforcer le rayonnement du Grand Lyon ;
2. Construire des bâtiments simple et durable, à forte inertie, avec dalle et refends porteurs, et isolation par l'extérieur ;
3. Réaliser la distribution par coursives en créant des logements traversants Est-Ouest qui bénéficient de vues dégagées ;
4. Offrir des loggias à géométrie variable, fonctionnant en terrasses extérieures totalement ouvertes l'été, et en jardins d'hivers récupérant les apports solaires en hivers ;
5. Mettre en valeur les fleuves et les qualités paysagères du site. **(Dossier du permis de construire)**



Le plan global, figure les perspectives générales bien après que soient réalisées les restructurations nécessaires des grandes infrastructures autoroutières et ferroviaires.

Il illustre, et préserve les possibilités d'évolution des aménagements; sans fixer d'échéance finale. Pour longtemps, Lyon-Confluence est à concevoir dans une optique de progressivité, dont chaque avancée exige des résultats particulièrement significatifs. Il propose les principales options suivantes:



Image perspective du projet Lyon confluence, Source : www.lyon-confluence.fr

- L'urbanisation du site, incluant le quartier existant de Sainte Blandine, depuis le square Carnot jusqu'à la pointe du confluent, forme une même, unique et grande entité, continue et composite ;
- Les développements bâtis sont partout associés aux éléments d'un grand système de paysage qui relie les dimensions locales et l'échelle géographique. La configuration des aménagements souligne les différences entre les faces opposées du secteur, liées d'un côté à la Saône avec le vis à vis d'un parc ramifié et des balmes, et de l'autre au Rhône, avec la franchise d'un long mail dominant un bas-port et avec les franchissements vers Gerland;
- L'organisation urbaine repose sur une définition claire du statut des sols, distinguant nettement et délimitant les espaces publics continus par rapport aux emprises affectées aux différentes installations parcellisées. **(Dossier du permis de construire)**

1.3. La Cité Jardin (quartier Saint Blandine)

La cité jardin constitue un pôle d'attraction, d'animation et de services. Sa situation privilégiée comme balcon urbain donnant sur le Rhône, la présence d'équipements commerciaux ont fait de la cité un lieu privilégié pour les rencontres, la promenade et l'habitation.

La cité jardin fait partie intégrante du centre ville, elle a une superficie moyenne de 12250 m² elle est limitée :

- Au Nord : Cours Bayard ;
- Au Sud : Rue Casimir Perier ;
- A l'Est : Quai Perrache ;
- A l'Ouest : Rue Delandine.

Actuellement, le site se caractérise par son rôle essentiellement résidentiel en parallèle d'un rôle secondaire de commerce.



*Image de la cité jardin.
Source : <http://photos.pagesjaunes.fr>*

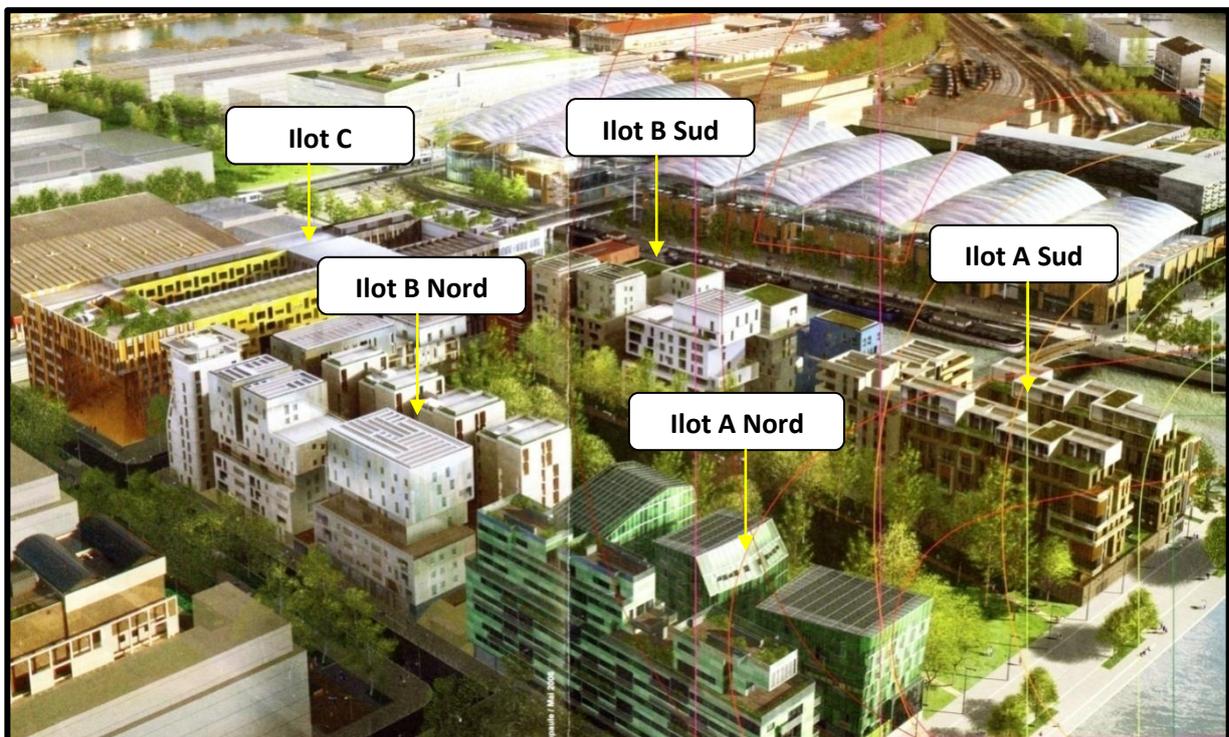


On particularise trois types de volumes distincts. Quatre sont homogènes de hauteurs identiques et se présentent en forme de H, le deuxième prototype de bâtiment, et en forme de U constitué par l'assemblage de deux volumes en forme de H. Le troisième prototype s'étale en forme de barre.

Les bâtiments sont structurés par une trame plus au moins régulière où les voies transversales ont une largeur assez importante, ces axes gardent la même largeur le long de leurs parcours.



Image aérienne de la Cité Jardin, Source <http://maps.google.fr>



Répartitions des différents îlots du projet Lyon confluence
Source : www.Lyon-confluence.fr



2. Analyse architectural des deux projets

2.1. Lyon confluence - Ilot A - Partie Nord

2.1.1. Le programme de l'îlot A Nord et son environnement proche:

Le terrain de l'**îlot A Nord** a une surface de 2 816 m². Ses limites sont clairement définies :

- à l'Est, au Sud par le jardin public de l'îlot ;
- à l'Ouest, par la future voie B ;
- au Nord, par le prolongement de la rue Casimir Périer.

Les éléments de programme sont les suivants :

- Logement 7579 m² en accession libre, commerces néant ;
- Un parc de stationnement répondant aux besoins du programme



Plan de masse de l'îlot A Nord.
Source : Document du permis de construire

2.1.2. Analyse du parti Architectural et la volumétrie du projet:

Le projet concentre la géographie de ce lieu dans un ensemble monolithe, le concept étant de créer par la décomposition, la fragmentation du bloc, une recomposition en morceau d'un paysage constitué.

L'ensemble est constitué de quatre édifices. Entre le Square Central et le Jardin Aquatique, trois bâtiments de nature identique, aux formes pointues, les blocs A B et C, englobent façades et toitures dans une même volumétrie de différente hauteur (6 à 8 niveaux). Entre la rue Casimir Perrier et le jardin aquatique, un bâtiment rectiligne de 6 étages, le bloc D surmonté de 3 niveaux en retrait de la façade principale affirme sa ligne d'horizon par sa volumétrie découpée vers le jardin aquatique à l'Ouest. L'ensemble de ces quatre édifices est relié par un socle de deux niveaux de stationnement aux trois quarts enterré. **(Tania Concko, Architecte et Urbaniste)**

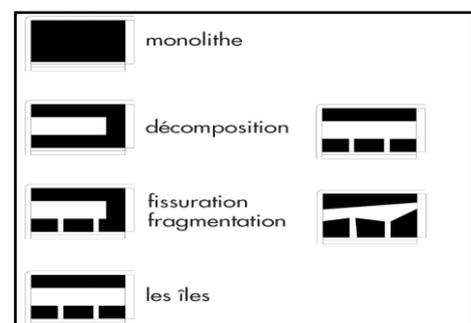
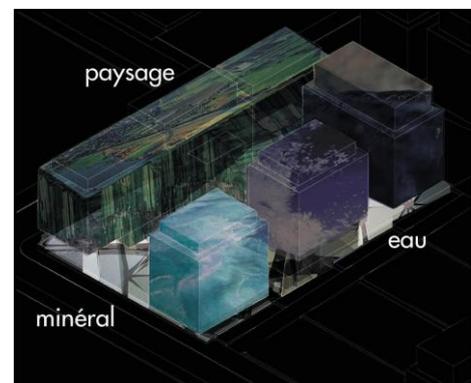


Schéma de principe de la conception des volumes de l'îlot A Nord. Source : Documents du permis de construire



2.1.3. Analyse des façades du bloc A - B - C

Les façades des trois bâtiments donnant sur le Square Central s'inscrivent dans un mouvement naturel de la pente paysagère, vers le Rhône. Les façades de ces 3 bâtiments sont de même nature : une paroi épaisse, une double peau.

La peau intérieure est constituée d'une enveloppe de béton brut, percée de baies ouvrantes aux dimensions variées suivant l'orientation ou la destination des pièces.

La seconde peau, à l'extérieur, inscrit sa structure aluminium sur une trame modulaire composée de châssis, comportant une série de vantelles verrières non jointives permettant une ventilation naturelle.



Différentes vues des façades des blocs A, B et C. Source : Documents du permis de construire. →

2.1.4. Analyse des façades du bloc D

Les quatre façades sont composées d'une même paroi épaisse constituée d'une peau en béton,

La densité des percements varie suivant l'orientation des façades: très ouvertes au Sud et à l'Ouest, plus opaques au Nord et à l'Est, le pourcentage de vitrage et de l'ordre de 42%. Des balcons extérieurs viennent ponctuer les façades au Nord, et plus amplement au Sud, constituant de véritables protections solaires.



Différents vues du bloc D. Source : Documents du permis de construire.

2.1.5. Façades / description des matériaux (Bloc A.B.C.D):

Façade

- Isolant intérieur ;
- Mur béton ;
- Vitrage simple.

Vitrages

- Ouvrants à double vitrage isolant / menuiserie métallique aluminium

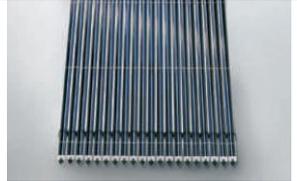
Protections solaires et occultations

- Stores intégrés dans les vitrages des menuiseries.

Cinquième façade



- Toitures « réfléchissantes » ;
- Panneaux photovoltaïques en verrière ;
- Panneaux solaires ;
- Toiture jardin.

Toiture	 Panneaux solaires	 Panneaux photovoltaïques	 toiture jardin
Façade	 Vantelle de verre	 Menuiserie aluminium	 Béton brut

Images des principaux matériaux de revêtement. Source : www.google.fr

2.1.6. Calcul de l'albédo des façades et des toitures :

Le tableau suivant présente les valeurs d'albédo des façades et des toitures de la partie Nord de l'îlot A. Ces valeurs ont été obtenues à partir de la base de données des caractéristiques physiques et solaires des matériaux (voir partie annexe). Concernant l'albédo des panneaux solaires et photovoltaïques, des études menées par le centre thermique de Lyon ont montré que leur coefficient de réflexion est de 0.05 et leur émissivité de 0.95. Le coefficient de réflexion des vitrages simples est égal à 0.08 alors que celui des vitrages doubles est de 0.15 (**Mémento technique 1996**). Enfin, on notera que pour les façades composées de deux ou plusieurs matériaux avec des valeurs d'albédos différentes, une équation de calcul a été utilisée pour déterminer une valeur intermédiaire afin de simplifier la méthode de simulation. (**Albédo total = Albédo (1^{er}) matériau x pourcentage d'occupation dans la façade + Albédo (2^{ème}) matériau x pourcentage d'occupation dans la façade**). Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous



Analyse par bâtiment	Généralités	Bâtiment A		Bâtiment B		Bâtiment C		Bâtiment D	
Géométries									
Façades	Vêtue ou membrane extérieures en structure métallique ou verre	Vitrage simple + membrane métallique		Vitrage simple + membrane métallique		Vitrage simple + membrane métallique		Béton brut + vitrage	
Albédo des façades		0.08	0.35	0.08	0.35	0.08	0.35	0.35	0.08
Albédo totale	= Albédo vitrage x (%) + albédo béton x (%)	0.16		0.16		0.16		0.26	
Pourcentage de vitrage	0.72	0.72		0.72		0.72		0.42	
Toiture	Nombreuses toitures végétalisées	Capteurs		Capteurs		Capteurs		végétalisée	
Albédo des toitures		0.05		0.05		0.05		0.33	

2.2. Lyon confluence -Ilot A - Partie Sud

2.2.1. Le programme de l'îlot A Nord et son environnement proche:

Le terrain de l'îlot A Sud a une surface de 2 816 m². Ses limites sont clairement définies :

- à l'Est, au Nord par le jardin public de l'îlot ;
- à l'Ouest, par la future voie B ;
- au Sud, par l'alignement du quai nord de la place nautique.

Les éléments de programme sont les suivants :

- Logements : 9823 m² dont 1629 m² de logement ;
- Commerces : 479 m² ;
- Un parc de stationnement de 135 places répondant aux besoins du programme.



Plan de masse de l'îlot A Sud.
Source : Documents du permis de construire



2.2.2. Analyse du parti architectural et de la volumétrie

Le parti architectural proposé tourne autour de deux principes fédérateurs:

- compacité des formes bâties,
- ouverture en direction des principaux espaces publics.

Des ouvertures sont ainsi préservées entre les différents volumes afin d'ouvrir des vues traversantes entre l'intérieur de l'îlot et les espaces publics extérieurs.

- mixité des formes bâties



2.2.3. Analyse des façades

les façades des deux bâtiments affichent une ambiance d'ombre et de soleil caractérisé par les éléments architecturaux (loggias) entrants et sortants. Les deux derniers niveaux, en retrait, se prolongent en direction du bassin nautique et du jardin central, dégagant ainsi des porte-à-faux horizontaux.

Les quatre façades sont composées d'une même paroi épaisse constituée d'une peau en béton.



Différents vues du bloc D. Source : Documents du permis de construire

2.2.4. Façades / Description des matériaux

Peau intérieure

Façade

- Isolant intérieur ;
- Mur béton.

vitrages

- Ouvrants à double vitrage isolant / menuiserie métallique aluminium ;
- Peau intérieure : mur plein béton / isolant extérieur ;
- Le pourcentage de vitrage et de l'ordre de 65%.

Cinquième façade

- Toitures jardins ;
- Toitures terrasses en béton brut.



Toitures	 Béton brut	 Gazon
	 Peau extérieure	 Lamelles métalliques

Images des principaux matériaux de revêtement. Source : www.goolge.fr

Calcul de l'albédo des façades et des toitures :

Les deux bâtiments de la partie Sud de l'îlot A sont composés de deux matériaux distincts. Les façades des deux volumes sont enveloppées par des murs de béton et percés par des fenêtres et des portes fenêtres en vitrages doubles. Le pourcentage des vitrages dans les façades varie entre les deux volumes. Il est de 65% pour le bâtiment jardin et de 63% pour le bâtiment darse. Cependant, les toitures des deux bâtiments sont toutes les deux recouvertes par du gazon vert.

La même méthode de calcul utilisée pour l'îlot A Nord a été réutilisée pour la détermination d'une valeur intermédiaire de l'albédo des façades. Les valeurs sont présentées dans le tableau ci-dessous

Analyse par bâtiment	Bâtiment jardin		Bâtiment Darse	
Géométries				
Façade	Béton + double vitrage		Béton + double vitrage	
Pourcentage de vitrage	0.65		0.63	
Albédo des façades	0.35	0.08	0.35	0.08
Albédo totale	0.22		0.22	
Toiture	végétalisée		végétalisée	
Albédo des toitures	0.33		0.33	



2.3. Projet Lyon confluence - Ilot B

2.3.1. Le programme de l'îlot B et son environnement proche.

<p>Le terrain de l'îlot B - Sud à une surface de 3930 m² environ. Ses limites sont définies:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A l'Ouest et au Nord par le jardin public de l'îlot ; • A l'Est, par le prolongement de la rue Denuzière ; • Au Sud, par l'alignement du quai nord de la place nautique. <p>Les éléments de programme sont les suivants</p> <ul style="list-style-type: none"> • 135 Logements 12 092 m² dont 1347 m² de logements PLI ; • Commerces 730 m² ; • Un parc de stationnement répondant aux besoins du programme. 	<p>Le terrain de l'îlot B - Nord à une surface de 4557 m². Ses limites sont définies:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A l'ouest, au Sud par le jardin public de l'îlot ; • A l'Est, par le prolongement de la rue Denuzière ; • Au Nord, par le prolongement de la rue Casimir Périer. <p>Les éléments de programme sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 166 Logements de 15 161 m² dont 4 134.5 m² de logements ; • Commerces 970.5 m² ; • Un parc de stationnement répondant aux besoins du programme.

2.3.2. Analyse du parti Architectural et de la volumétrie (Description commune aux îlots Nord et Sud de l'îlot B)

Le parti architectural proposé autour de quelques principes simples, répond à la situation particulière de l'îlot:

- Compacité des formes bâties

Le projet se caractérise par la compacité de ces formes et un jeu de disposition des volumes en porte à faux créant un dynamisme dans les façades et une protection contre le rayon solaire.

- Ouverture en direction des principaux espaces publics

La composition architecturale s'est appuyée sur le tramage urbain pour modeler ses volumes pleins comme une résultante du tramage des vides. Des ouvertures sont ainsi préservées entre les



différents volumes afin d'ouvrir des vues traversantes entre l'intérieur de l'îlot et les espaces publics extérieurs.

2.3.3. Analyse des façades de l'îlot B.

A l'exception d'un bâtiment en béton et de la tour d'angle en polycarbonate, l'ensemble de l'architecture expose une variation de peaux métalliques. Cette déclinaison de métal propose une variété de traitement allant de l'acier laqué, du cuivre, de l'aluminium, de l'inox. Cette démarche se positionne clairement dans un esprit contemporain. Les jeux des reflets, lumières et couleurs viendront accentuer l'effet d'un projet instable.



Différentes vues des façades de l'îlot B. Source : Documents du permis de construire

2.3.4. Façades / description des matériaux

Façades

- Isolant intérieur
- Mur béton
- Revêtements en aluminium, inox et plaque polycarbonate

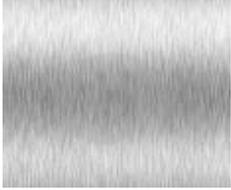
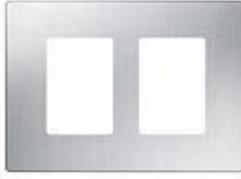
vitrages

- Ouvrants à double vitrage isolant / menuiserie métallique aluminium

Cinquième façade



- Toitures jardins
- Toitures terrasses en béton brut ;
- Panneaux photovoltaïques en verrière ;
- Panneaux solaires.

Toitures	 Béton brut	 Gazon	 Panneaux photovoltaïques	 Panneaux solaires
Façades	 Aluminium	 Inox	 Polycarbonate	 Cuivre

Images des principaux matériaux de revêtement. Source : www.goolge.fr

2.3.5. Calcul de l'albédo des façades et des toitures :

L'îlot B affiche une pluralité de matériaux de revêtements. On distingue à ce niveau sept corps différents. Afin de déterminer les coefficients de réflexion de chaque matériau des facettes. Un recours à la base de données des propriétés solaires des matériaux à été opérée (voir partie annexe). A partir de cette base on a pu définir les valeurs de réflexion de certains matériaux comme : l'aluminium, le cuivre et le béton brut.

Pour d'autre matériaux comme l'inox et les plaques de polycarbonate, la recherche bibliographique n'a pas permis de trouver les valeurs des coefficients de réflexion solaire correspondant. Ce qui nous a conduit à émettre des hypothèses sur les facteurs de réflexion de chaque matériau. Pour l'inox, on a proposé une valeur de réflexion de 0.95 car ce dernier est considéré comme un matériau très réfléchissant (plus réfléchissant que l'aluminium). Concernant les plaques polycarbonates, ces dernières ont été comparées avec les vitrages doubles. A l'issue de cette comparaisons, on à préconisé une valeur de réflexion de 0.20.

Le pourcentage de vitrage pour chaque volume a été pris en considération, afin de calculer une valeur intermédiaire des facettes, nécessaire pour les simulations envisagées. Pour cela, la méthode de calcul est la même utilisée précédemment pour les deux parties de l'îlot A (**Albédo total = Albédo (1^{er}) matériau x pourcentage d'occupation dans la façade + Albédo (2^{ème}) matériau x pourcentage d'occupation dans la façade**). Les résultats des calculs sont présentés dans les deux tableaux ci-dessous.



Analyse par bâtiment	Bâtiment 1	Bâtiment 2	Bâtiment 3	Bâtiment 4	Bâtiment 5	Bâtiments6
Géométrie						
Façades	Cassettes Aluminium laqué sur raidisseurs	Cassettes Inox sur raidisseurs	Cassette Aluminium sur raidisseurs	Cuivre sur ossature Bois	Cassettes Inox sur raidisseurs	
Albédo façades	0.85 0.15	0.95 0.15	0.85 0.15	0.82 0.15	0.82 0.15	0.95 0.15
Pourcentage de vitrage	22%	22%	22%	24%	24%	25%
Albédo totale	0.69	0.77	0.69	0.65	0.65	0.75
Toiture	Végétalisée	Végétalisée	Végétalisée	Végétalisée	Capteurs	Capteurs
Albédo toitures	0.33	0.33	0.33	0.33	0.05	0.05

Analyse par bâtiment	Bâtiment 7	Bâtiment 8	Bâtiment 9	Bâtiment 10	Bâtiment11	Bâtiment 12
Géométries						
Façades	Cassettes Aluminium sur raidisseurs	Cassettes Aluminium sur raidisseurs	Plaque polycarbonate alvéolaire à ossature cachée	Cassettes inox sur raidisseurs	Cassettes inox sur raidisseurs	Béton brut
Albédo façades	0.85	0.85	0.20	0.95	0.95	0.35
Pourcentage de vitrage	25%	26%	29%	35%	17%	16%
Albédo totale	0.67	0.66	0.18	0.67	0.81	0.24
Toiture	Capteurs	Capteurs	Capteurs	Capteurs	Capteurs	végétalisée
Albédo toitures	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.33

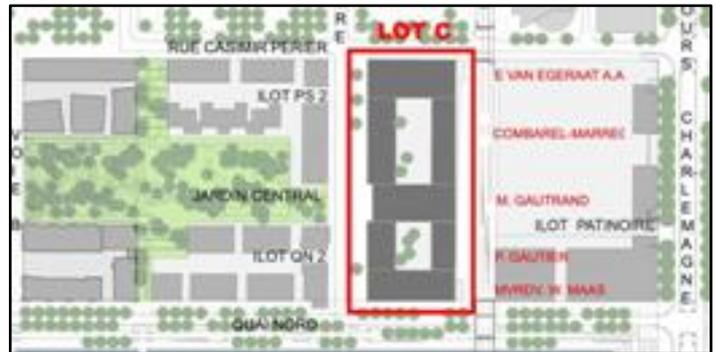


2.4. Projet Lyon confluence – Ilot C

2.4.1. Le programme de l'îlot B et son environnement proche.

Le terrain de l'îlot C a une surface de 13950 m² environ. Ses limites sont clairement définies :

- au Nord par le prolongement de la rue Casimir Périer ;
- à l'Est, par le prolongement de la rue Denuzière ;
- au Sud, par l'alignement du quai nord de la place nautique ;
- à l'Ouest, par le prolongement de la rue Denuzière.



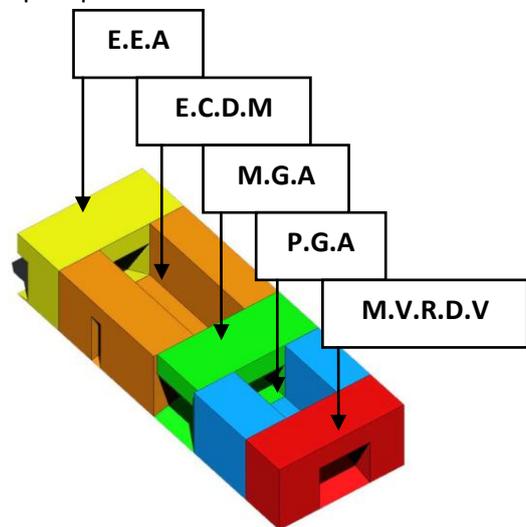
Plan de masse de l'îlot C. Source : Documents du permis de construire

2.4.2. Analyse du parti Architectural et urbain et de la volumétrie

L'îlot C se partage entre cinq Architectes : (MVRDV) Winy Maas, Eric Van Egeraat (E.E.A) ; Emmanuel Combarel et Dominique Marrec (E.C.D.M) ; Pierre Gautier (P.G.A) ; et Manuelle Gautrand (M.G.A).

La lecture du projet nous permet de distinguer quelques principes qui s'affichent clairement :

- Un principe de compacité des formes bâties, donnant au projet une grande urbanité ;
- Trois ouvertures très importantes : L'une sur la darse au Sud, la seconde au nord sur la rue Casimir Perrier, et la dernière à l'ouest sur le parc jardin. Cette dernière est symboliquement très importante car elle constitue l'extrémité du parc venant s'arrêter sur le bâtiment que l'on imagine.
- Un plan masse unificateur donnant à chacun des cinq architectes le lieu d'une intervention libre et diversifiée.
- Le choix d'un matériau par architecte, continu sur toutes les faces de son projet



Les différentes parties qui composent l'îlot C : Documents du permis de construire



2.4.3. Analyse des façades du projet

Les façades de l'îlot C affiche une variété de matériaux. Quatre matériaux distincts caractérisent les cinq parties du monolithe. Le choix d'un matériau par architecte, continu sur toutes les faces de son projet. Cela concerne les façades mais également, la surface sous le pont et enfin la toiture

Les façades contiennent des parties pleines et des parties vision. Le mouvement des volets anime la façade et lui donne un caractère plus stable.



Différentes vues des faces des cinq parties qui composent l'îlot C.
Source : **Documents du permis de construire**

2.4.4. Façades / description des matériaux

Façade

- Isolant intérieur
- Mur béton
- Cadres préfabriqués finition bois : Mélèze massif, Lattes inox, carreaux de verre moulés, béton

vitrages

- Ouvrants à double vitrage isolant / menuiserie métallique aluminium

Cinquième façade

- Toitures en béton brut ;
- Toitures en lattes inox ;
- Toitures en Mélèze massif ;
- Toitures carreaux de verre moulés.

Toitures et Façades				
	Béton brut	Bois Mélèze massif	Verre moulés	Inox

Images des principaux matériaux de revêtement. Source : www.goolge.fr

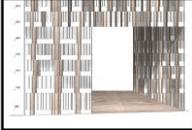
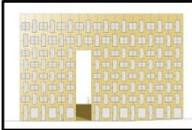
2.4.5. Calcul de l'albédo des façades et des toitures :

L'îlot C est un volume compact qui résulte de l'assemblage de cinq parties distinctes. Chaque partie de ce monolithe est revêtue par un matériau spécifique qui enveloppe la totalité de chaque tranche. Parmi ces matériaux, le seul qui affiche des valeurs de coefficient de réflexion dans la base de données et le béton brut. Cependant, les autres matières comme l'inox, bois Mélèze massif et le



verre moulé, la recherche bibliographique n'a pas permis une autre fois de trouver des valeurs qui leurs correspondent. Ce qui nous a conduit à émettre une nouvelle fois des hypothèses sur les valeurs de chaque matériau.

Pour le bois Mélèze massif, on a proposé un facteur de réflexion similaire à celui du bois naturel de (0.40) (voir partie annexe). On préconise pour l'inox, la même valeur de coefficient de réflexion proposé précédemment pour les volumes de l'îlot B qui est de 0.95. Enfin pour le verre moulé on propose un facteur de réflexion de (0.35). Les valeurs d'albédo de chaque partie sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Analyse par bâtiment	Généralités	M.V.R.D.V	E.C.D.M	M.G.A	P.G.A	E.E.A
Géométrie						
Façades		Cadre préfabriqués finition bois : Mélèze massif	Béton	Lattes inox	Béton	Carreaux de verre moulés
Albédo façades		0.40	0.35	0.95	0.35	0.35
Pourcentage de vitrage	Sv=21% en logement Sv= 41% f pour les bureaux	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
Albédo totale		0.24	0.22	0.45	0.22	0.22
Toiture		Mélèze	Béton	Lattes inox	Béton	Carreaux de verre moulés
Albédo toitures		0.40	0.35	0.95	0.35	0.35



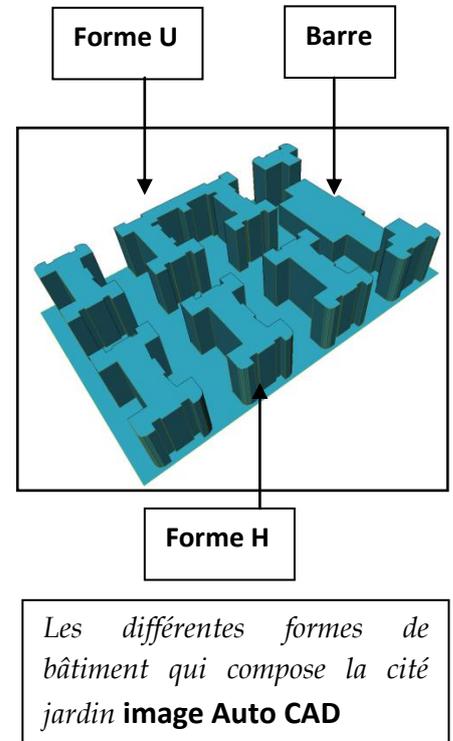
2.5. Analyse de la cité jardin (Quartier Saint Blandine) :

2.5.1. Analyse du parti architectural et de la volumétrie

La composition architecturale s'est appuyée sur le tramage urbain pour modéliser ses volumes pleins. Le quartier de la cité jardin présente trois formes de volumes distincts. Le premier en forme de H, c'est le module le plus répandu dans le quartier avec quatre volumes, chaque volume s'élève du sol de 24 m avec 8 étages. Le deuxième volume se présente en forme de U constitué par la juxtaposition de deux volumes en formes de H. Le troisième volume est le plus grand. Il s'affiche comme une barre constituée de deux ailes de 8 étages chacun et un bâtiment central de 4 étages avec une hauteur de 13 m.

Le projet est ouvert sur les trois cotés sud, est et ouest, constituant des percées visuelles et des couloirs de lumière et du soleil.

En matière de durabilité, le quartier de la cité jardin constitue un véritable exemple de mixité, d'intégration et d'urbanité, c'est pour ces raisons qu'il a été choisi pour cette étude comparative comme quartier de référence.



2.5.2. Analyse des façades

Les façades du projet jardin ont été influencées par la monotonie et l'uniformité des formes bâties. Les façades des bâtiments sont constituées de trois modules de bases. Il s'agit en fait, des fenêtres, des portes fenêtres et les balcons qui viennent décorer tous les volumes en refrain avec un ordre parfaitement régulier.

L'analyse des façades nous dévoile une certaine horizontalité dans le traitement. Ce traitement horizontal a pour objectif d'ajuster l'équilibre vertical des volumes. Les enveloppes des bâtiments sont composées d'une paroi épaisse constituée d'une peau en béton de couleur blanche, et des vitrages. Ces derniers sont protégés par des persiennes.

Le pourcentage de vitrage est le même sur toutes les façades et ne varie pas en fonction de l'orientation.

Différentes vues de la cité jardin. Source : www.pâgejeune.fr





2.5.3. Façades / description des matériaux

Façade

- Mur béton

vitrages

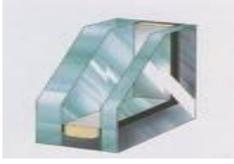
- Ouvrants double vitrage / menuiserie métallique aluminium.

Protections solaires et occultations

- Persiennes blanche intégrées au cadre de la fenêtre.

Cinquième façade

- Toitures en béton brut de couleur grise.

Toitures et Façades				<i>Images des principaux matériaux de revêtement. Source : www.goolge.f</i>
	Béton brut	Persienne	Double vitrage	

2.5.4. Calcule de l'albédo des façades et des toitures :

Les façades du projet de la cité jardin sont revêtues par des matériaux traditionnels (mur de brique revêtu par une couche épaisse de béton et des vitrages doubles pour les percements). A partir de la base de données des matériaux. On a pu définir le coefficient de réflexion des différents matériaux qui compose l'enveloppe de chaque volume. Les valeurs sont présentées dans le tableau ci dessous.

Analyse par bâtiment	Bâtiment en forme H		Bâtiment en forme U		Bâtiment en forme de barre	
Géométries						
Façade	Béton + double vitrage		Béton + double vitrage		Béton + double vitrage	
Pourcentage de vitrage	0.45		0.45		0.45	
Albédo des façades	0.45	0.15	0.45	0.15	0.45	0.15
Albédo totale	0.35		0.35		0.35	
Toiture	Rouleau d'asphalte		Rouleau d'asphalte		Rouleau d'asphalte	
Albédo des toitures	0.20		0.20		0.20	



3. Analyse morphologique des deux tissus urbains :

Dans le premier chapitre nous avons défini le cadre de la recherche et la méthodologie d'approche. A l'issue de l'état de l'art nous avons recensé une large gamme d'indicateurs. Ensuite, nous avons entamé une analyse architecturale des deux tissus urbains afin de les situer dans leur contexte environnemental.

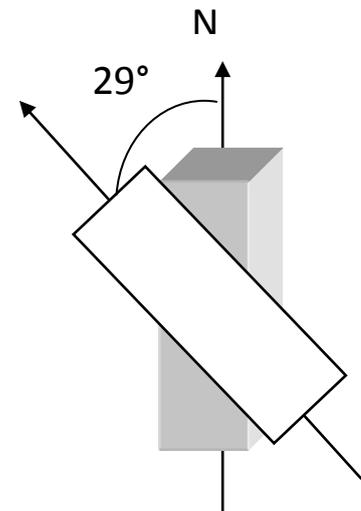
Dans le cadre de cette caractérisation nous avons utilisé le logiciel SOLENE (logiciel d'ensoleillement et de thermique développé par le laboratoire CERMA) pour l'analyse morphologique. Les données utilisées pour cette étude, sont constitués : d'une maquette de tout Lyon confluence avec des tableaux de calcul de la surface hors œuvre nette SHON (voir partie annexe) et une vue d'ensemble en 3D en format Auto CAD.

Nous présenterons, à partir d'une structuration thématique, les indicateurs morphologiques et environnementaux recensés. Ensuite, ces indicateurs sont expérimentés tour à tour sur les deux tissus afin de pouvoir comparer les résultats et faciliter la compréhension. Des analyses et des corrélations avec un langage urbanistique sont ensuite dégagées en proposant des mesures de références et des conclusions.

Dans un premiers temps, une analyse comparative des indicateurs sera opérée afin d'analyser chaque tissu. Ensuite, nous entamons une phase de croisement entre les différents indicateurs d'études, cela peut rendre compte en partie de la complexité et du couplage des phénomènes et d'autres part de la réalité complexe de la forme urbaine.

3.1. Indicateur de l'orientation

L'aménagement des quartiers Lyon confluence et de la cité jardin suivent l'alignement de la trame urbaine, les deux quartiers sont décalés par rapport à la direction nord-sud d'un angle d'environ 29°. De ce fait, l'orientation des façades, sud notamment, nord, est et ouest des bâtiments des deux quartiers n'est pas favorisée et on trouve uniquement des façades nord-est, sud-est, sud-ouest et nord ouest. Les résultats des pourcentages de surface de façade par orientation ainsi que leurs représentations en rose d'orientation sont affichés dans les tableaux ci-dessous :

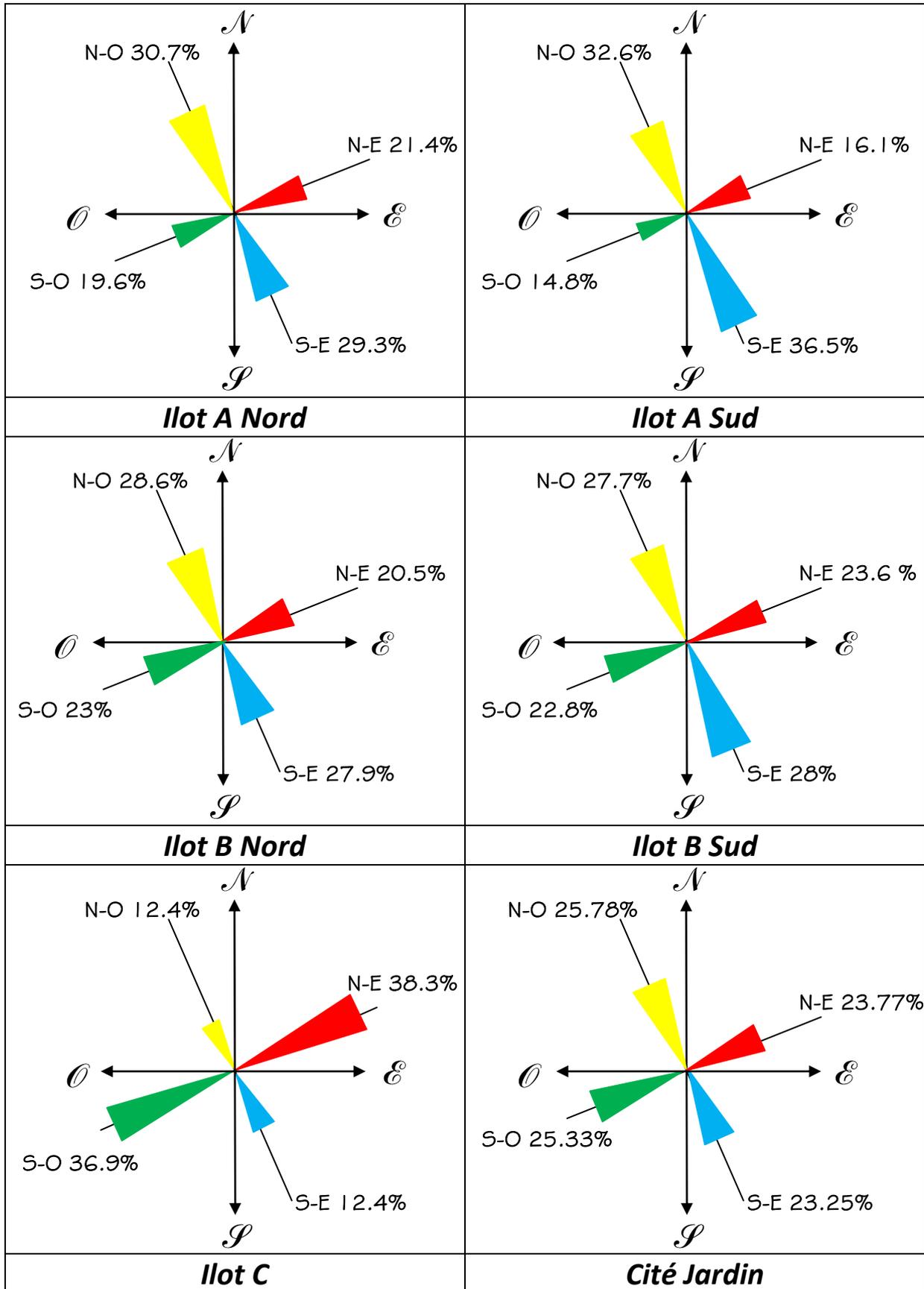


Ilots	Nord	Nord-est	Est	Sud-est	Sud	Sud-ouest	Ouest	Nord-Ouest
Ilot A Nord	0.00	30.7	0.00	21.4	0.00	29.3	0.00	19.6
Ilot A Sud	0.00	36.5	0.00	16.1	0.00	32.6	0.00	14.8
Ilot B Nord	0.00	20.5	0.00	27.9	0.00	23.00	0.00	28.6
Ilot B Sud	0.00	28	0.00	22.8	0.72	25.6	0.00	23.6
Ilot C	0.00	12.4	0.00	38.3	0.00	12.4	0.00	36.9
Cité jardin	0.22	25.78	0.63	23.25	0.67	25.33	0.35	23.77

Pourcentage de surface de façade par orientation



La rose d'orientation des différents îlots et tissus urbains





3.2. Indicateurs relatifs aux bâtiments et aux espaces extérieurs :

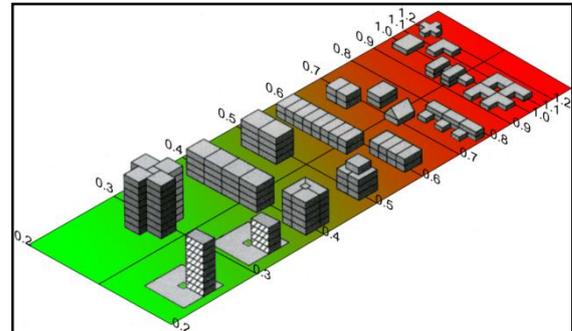
3.2.1. Indice de compacité :

La méthode de calcul de l'indicateur de compacité proposée dans le rapport ADEQUA semble plus propre à indiquer une certaine rentabilité de la construction (la surface de planchers par rapport à la surface de l'enveloppe) qu'une réelle valeur de la surface d'échange thermique. Les locaux tampons ne sont pas pris en compte dans cet indicateur qui traduit avant tout le rapport entre la quantité de matériaux utilisés et la surface utile dégagée.

L'indicateur de compacité, C , exprime la valeur de la surface d'échange de l'enveloppe des bâtiments rapportée au m^2 de plancher. Il est sans unité, il peut prendre des valeurs comprises entre 0.5 et quelques unités, pour des configurations courantes de bâtiments. La surface d'enveloppe est constituée des façades verticales exposées aux conditions extérieures, du sol et des toitures. Plus C est faible, plus les constructions sont compactes et donc moins elles subissent les effets externes.

$C = \text{Surface cumulée de l'enveloppe des bâtiments (m}^2\text{)} / \text{Surface cumulée des planchers (m}^2\text{)}$
(ADEQUA).

Un projet aurait donc une compacité satisfaisante lorsqu'il présenterait une surface utile intéressante par rapport à la surface des parois qui séparent le volume protégé de l'extérieur ou de locaux non chauffés ni isolés.



Indice de compacité pour différentes formes géométriques. Grille de valeurs du rapport entre la surface d'échange du projet et la surface cumulée de planchers en fonction de la forme du projet. (D'après un schéma de (Goretzki et Coll, 1997).

3.2.2. Indicateurs de densité bâtie urbaine :

L'indicateur de densité urbaine, D_s , ou densité bâtie, est le rapport entre l'emprise au sol des constructions et la surface du terrain qui accueille le projet. Il est compris entre 0 et 1. Plus D_s est fort, plus les constructions occupent le terrain naturel et remplissent l'espace urbain.

$D_s = \text{Surface cumulée de l'emprise au sol des bâtiments (m}^2\text{)} / \text{Surface du territoire urbain (m}^2\text{)}$.

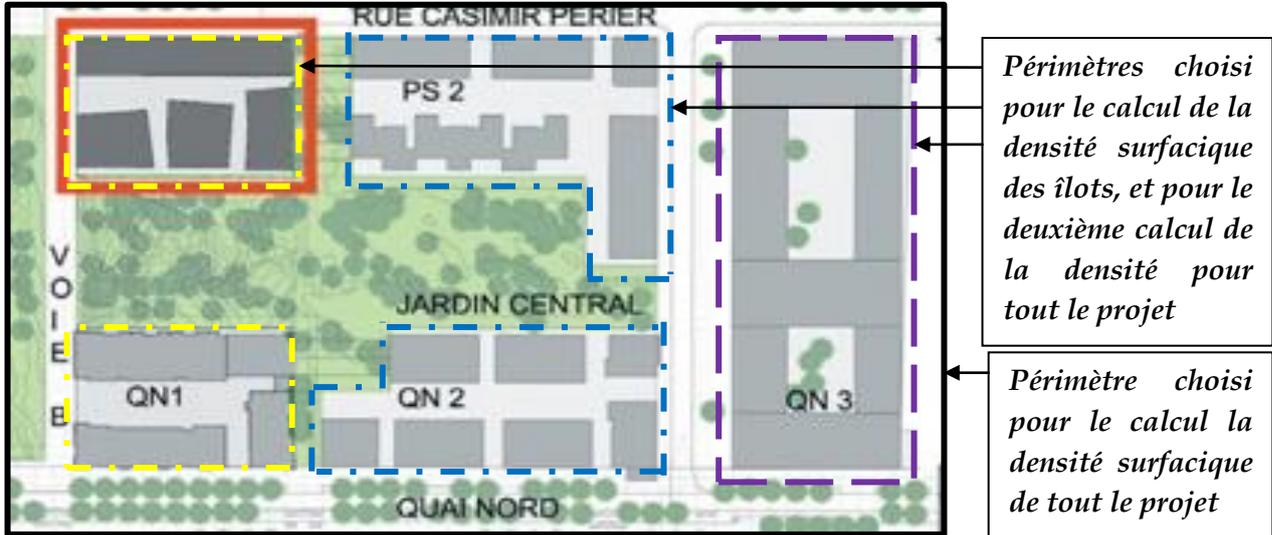
D_v représente la densité volumique c'est-à-dire le volume construit rapporté au territoire. Exprimé en m, il est équivalent à une hauteur correspondant à la hauteur moyenne des constructions qui occuperait tout le territoire.

$D_v = \text{Volume cumulé des bâtiments (m}^3\text{)} / \text{Surface du territoire urbain (m}^2\text{)}$. Ces deux indicateurs rendent compte de l'occupation des constructions (densité bâtie) mais également de la volumétrie construite (hauteur équivalente répartie) relativement à la surface du territoire correspondant au projet d'urbanisation. (ADEQUA)

Le calcul des densités pour les différents îlots ne prend en considération que le périmètre bâti. Cependant, deux calculs de la densité surfacique en fonction du périmètre choisi, sont envisagés pour le projet Lyon confluence. Le premier calcul prend en considération les espaces verts dans la



partie centrale du projet, alors que, le second ne tient compte que du périmètre bâti des différents îlots. Les différentes surfaces des îlots qui ont été prises en considération sont présentées dans la figure ci dessous.



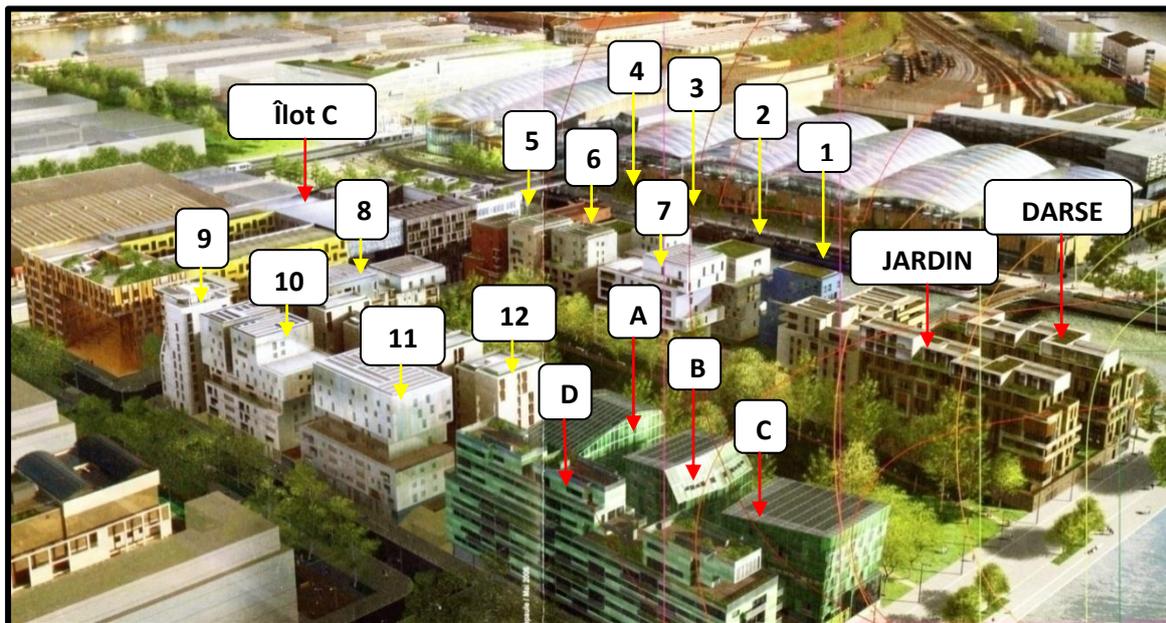
Périmètres choisis pour le calcul de la densité surfacique des îlots, et pour le deuxième calcul de la densité pour tout le projet

Périmètre choisi pour le calcul la densité surfacique de tout le projet

Les différents périmètres choisis pour le calcul de la densité surfacique. Source : Documents du permis de construire

Pour l'évaluation du volume bâti, nous avons retenu les volumes visibles, c'est-à-dire au-dessus du sol. Ce choix a été dicté par des contraintes liées à la simplification des volumes et à simulations envisagées. La prise en compte des volumes complets serait plus appropriée.

À partir du logiciel Solène (voir guide Solène) deux programmes sont exécutables. Le premier est développé dans un fichier externe lié directement à l'analyse morphologique. Plusieurs descripteurs sont intégrés dans ce programme d'analyse : la compacité, la densité surfacique, le coefficient d'occupation au sol, densité volumique et le facteur de vue de ciel.

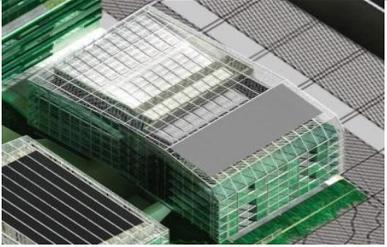


*Classification des différents bâtiments du projet Lyon confluence
Source : www.Lyon-confluence.fr*



3.3. Analyse morphologique des deux tissus

- Expérimentations sur l'îlot A Nord

Ilots	Différents Batiments	Compacité (/)	Densité surfacique (/)	Densité volumique (m)
Ilot A Nord	 A	0.96	0.32	6.25
	 B	1.27		
	 C	1.47		
	 D	1.24		
Analyse	<p>L'indice de compacité globale des volumes de l'îlot A Nord est de 1.04. L'analyse des résultats, nous montre que les indices de compacité des bâtiments B et D sont presque similaires. La plus grande valeur de l'indice a été enregistré pour le bâtiment C. Celui-ci présente un grand nombre de surfaces d'échange avec l'environnement extérieur. Toute fois, la plus faible valeur a été observé pour le bâtiment A. Ce dernier est considéré comme le bâtiment le plus compact du projet confluence.</p>			



- **Expérimentations sur l'îlot A Sud**

Ilots	Différents Batiments	Compacité (/)	Densité surfacique (/)	Densité volumique (m)
Ilot A Sud	 jardin	1.27	0.30	6.51
	 Darse	1.17		
Analyse	On observe après exploration des résultats, que les indices de compacité qui caractérisent les deux bâtiments de la partie Sud sont presque similaires avec un léger avantage pour le bâtiment Darse qui présente un indice de 1.17 moins de 0.10 par rapport à celui de du bâtiment jardin. Cette proximité enregistré dans les résultats et due probablement à l'organisation homogène des deux volumes qui se présentent en forme de barre. On note que la compacité globale de tout l'îlot est de 1.21			

- **Expérimentations sur l'îlot B Sud**

Ilots	Différents Batiments	Compacité (/)	Densité surfacique (/)	Densité volumique (m)
Ilot B Sud	 1	1.65	0.25	6.48
	 2	1.10		



	 3	1.09	0.25	6.48
	 4	1.57		
	 5	1.45		
	 6	1.07		
	 7	1.02		
Analyse	<p>La partie Sud de l'îlot B est constituée de 7 bâtiments. C'est la partie qui compte le plus grand nombre de volume avec un indice de compacité globale de 1.28 pour tout l'îlot. L'observation des résultats montrent que le bâtiment 1 ; et le bâtiment qui présente l'indice de compacité le plus grand avec 1.65, 30 % supérieur à la moyenne. Les bâtiments 4 et 5 ont aussi des valeurs de compacité supérieure à la moyenne générale. Ces derniers plus le bâtiment 1 ont plus de surface qui échange avec l'environnement externe donc plus de déperdition de chaleur par rapport aux bâtiments 2, 3, 6 et 7. Ce dernier présente l'indice de compacité le plus faible de l'îlot avec 1.02.</p>			



- Expérimentations sur l'îlot B Nord

Ilots	Différents Batiments	Compacité (/)	Densité surfacique (/)	Densité volumique (m)
Ilot B Nord	 8	1.02	0.28	7.25
	 9	1.47		
	 10	1.27		
	 11	1.18	0.28	
	 12	1.79		
Analyse	<p>L'îlot B Nord affiche une compacité globale de 1.33.</p> <p>L'étude des résultats de compacité des différents bâtiments, montre une hétérogénéité dans les valeurs. La plus faible valeur à été enregistré pour le bâtiment 8 avec 1.02. Alors que la plus grande valeur à été observé pour le groupe des bâtiments 12.</p> <p>Ce groupe offre un grand nombre de face qui échangent avec l'environnement immédiat qui présentent des potentiels de déperdition thermique supérieure aux autres bâtiments.</p>			



- Expérimentations sur l'îlot C

Ilots	Différents Batiments	Compacité (/)	Densité surfaccique (/)	Densité volumique (m)
Ilot C	 Monolithe	1.04	0.26	8.41
Analyse	L'îlot C est le volume le plus grand du projet confluence. Ce dernier affiche un indice de compacité de 1.04 , le troisième meilleur indice du projet confluence. Cette géométrie se caractérise par sa forme classique et compacte (monolithe) avec ses trois grandes percées et ses deux grands patios ouverts au ciel. En le comparant avec les autres îlots, ce monolithe présente moins de jeu de volume.			

- Expérimentations sur la cité jardin

Ilots	Différents Batiments	Compacité (/)	Densité surfaccique (/)	Densité volumique (/)
Bâtiments en forme de H	 H	1.14	0.30	6.64
Bâtiment en forme de U	 U	1.11		



La barre	 <p style="text-align: center;">Barre</p>	0.94	0.37	6.61
Analyse	<p>La compacité globale de tout le tissu de la cité jardin et de 1.10. On constate que les bâtiments en forme de H, ont l'indice le plus culminant du projet avec 1.14, cela veut dire qu'ils subissent plus de déperdition que les autres volumes qui s'affichent en forme de U et en forme de Barre avec des indices de compacité respectivement de 1.11 et de 0.94. On a constaté aussi que le volume en forme de barre expose une densité surfacique (consommation d'espace) supérieure à celles des autres volumes réunis et une densité volumétrique presque identique aux leurs.</p>			

3.4. Analyse des résultats liés aux indicateurs de la densité surfacique et volumétrique des différents îlots :

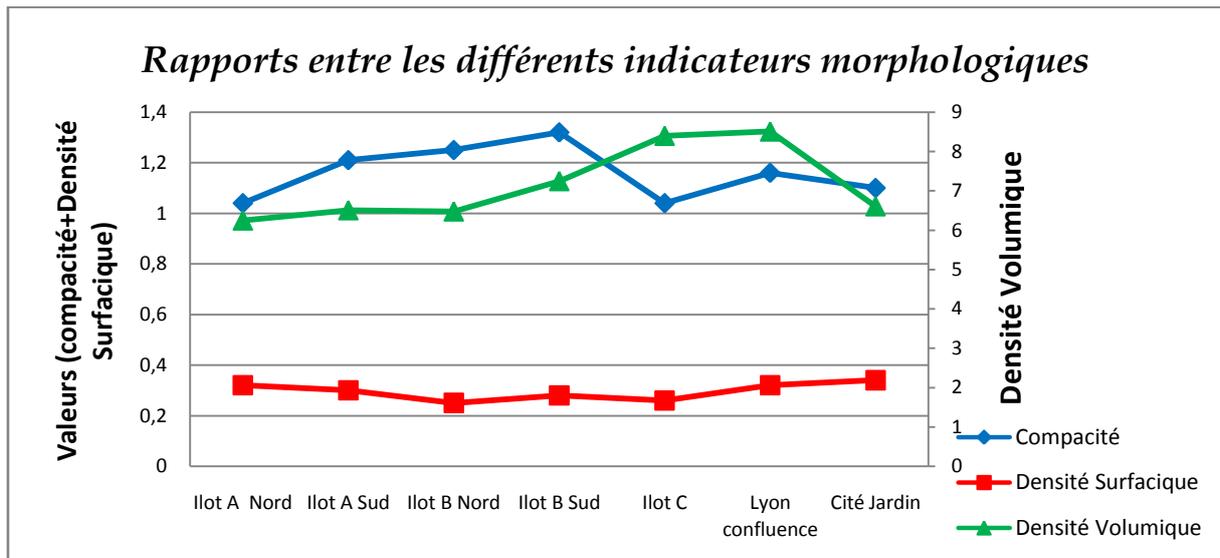
La lecture des résultats concernant les deux indicateurs (densité surfacique, densité volumique) qui sont liés aux espaces extérieurs, nous montre que les différents îlots du projet Lyon confluence ont une densité surfacique qui varie entre 0.25 et 0.30 (moyenne de 0.27) cela nous ramènent à conclure que les îlots présentent moins de vide, ce qui renvoie à une organisation assez compacte afin de laisser une place aux espaces verts. Par contre, la cité jardin affiche des valeurs de densité surfacique plus élevées, avec une moyenne de 0.34 et une surface non bâtie moins éminente que celle du Lyon confluence.

Concernant la densité volumique, on observe que les îlots A (Nord et Sud) et l'îlot B Sud ont une densité volumique moins élevé que celle des îlots B Nord et l'îlot C. Ce dernier présente la plus grande valeur avec 8.41. Contrairement, aux bâtiments de la cité jardin qui affichent des résultats presque identiques.

Projet	Les deux tissus	Compacité (/)	Densité surfacique 1 (/)	Densité surfacique 2 (/)	Densité volumique (m)
Lyon Confluence		1.16	0.32	0.27	8.51



La Cité Jardin		1.10	0.34	0.34	6.61



• Analyse des résultats

- **La compacité** nous renseigne sur la forme architecturale du bâti. Le projet Lyon confluence affiche un indice de compacité de 1.16. Celui là présente des potentiels de captage solaire et des surfaces d'échange avec l'environnement externe. Cependant, la cité jardin avec son indice de compacité satisfaisante de 1.10, présente moins de surface d'échange et de captage et ses volumes sont protégés de l'extérieur. Ces valeurs de compacité qui caractérisent les deux tissus renvoient simultanément à des formes carrées et hexagonales.
- **La densité surfaccique** nous traduit l'emprise au sol de la zone, Les aménagements urbains proposés pour le projet Lyon confluence ont une densité bâtie (0.32) dans le cas où on prend en considération les espaces verts dans la partie centrale du projet dans le périmètre de calcul, et de (0.27) dans le cas où on tient compte que du périmètre bâti. La première valeur est presque identique à celle du tissu existant de la cité jardin avec (0.34) qui présente la plus grande valeur de remplissage de l'espace urbain. Alors que le deuxième avec 0.27 de densité surfaccique nous dévoile une composition compacte et serrée des bâtiments et une consommation modérée de l'espace d'aménagement en laissant plus de vide pour les espaces de loisirs et aux jardins.
- **La densité volumique** du projet Lyon confluence est assez importante (8.51) avec (2m) de plus par rapport au projet de la cité jardin (6.61). Il laisse place toutefois à des surfaces d'espaces



publics. Ce descripteur distingue clairement les deux tissus de même densités surfaciques et de compacités très proches.

- L'histogramme des courbes de corrélation des indicateurs morphologiques nous dévoile une bonne correspondance entre la densité volumique et la compacité des bâtiments. Plus la densité volumique augmente plus la compacité augmente. Exception faite pour le projet confluence, qui affiche des résultats plus au moins opposés, cela est du probablement à son aménagement et à la composition de ces volumes.

Conclusions

1. La compacité d'un tissu urbain varie en fonction de l'aménagement de ses bâtiments. L'indice de compacité d'un tissu qui affiche un agencement compact et une organisation en hauteur des locaux, est inférieur à celui d'un tissu fragmenté et étalé avec des hauteurs moins élevées de ses volumes.
2. Les résultats ont dévoilé l'existence d'une corrélation étroite entre la densité volumique et la compacité des tissus urbains. Plus la densité volumique augmente plus la compacité diminue.

3. Analyse géométrique des deux tissus urbains :

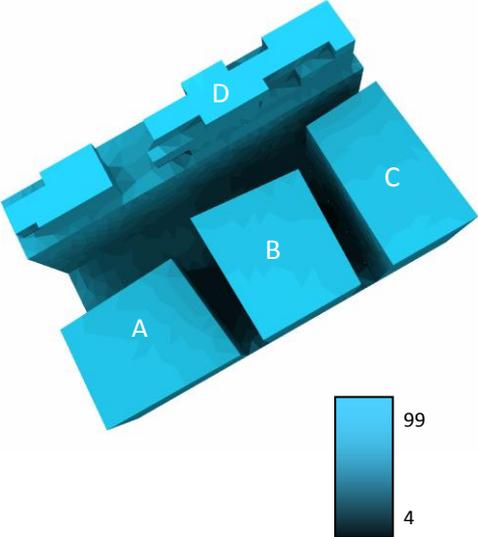
3.1. Facteur de vue de ciel :

Le programme de calcul est exécutable automatiquement du fichier de base de SOLENE (voir guide Solène). Ce dernier permet le calcul et la simulation du facteur de vue de ciel (descripteur géométrique) rend compte des caractéristiques spatiales des tissus. Le facteur de vue de ciel (S.V.F) exprime en premier temps le rapport entre le sol et le ciel, introduisant ainsi la notion de l'ouverture ou la fermeture de l'espace et permet de mettre en exergue les zones d'échanges entre les deux surfaces considérées : le sol et le ciel. Sa valeur est entre 0 et 100 %. Ce descripteur est évalué à partir de valeurs maximale et minimale de chaque tissu calculé principalement par le nombre de contour rapporté à la surface. Des valeurs pondérées pour chaque descripteur permettent en premier temps de comparer les deux tissus.

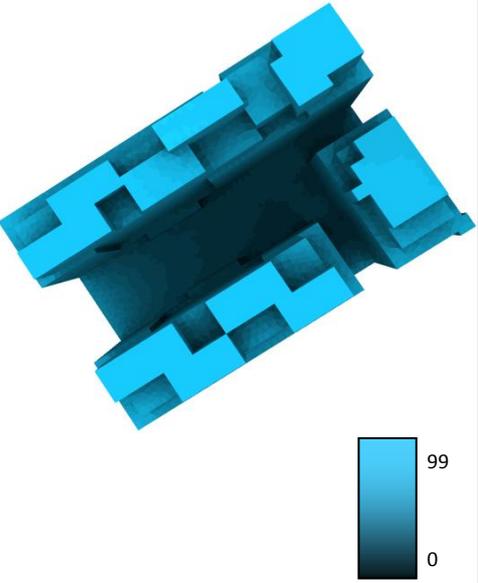
Le calcul des facteurs de vue de ciel a été opéré pour toute la géométrie des volumes des îlots d'une part et pour les surfaces horizontales et verticales séparément de ces volumes d'autre part. Une phase de triangulation est appliquée sur toute la géométrie plus le sol, cette phase est nécessaire pour lancer la simulation. Par souci de précision, cette triangulation a été opérée sur une maille de l'ordre de un mètre. Le ciel choisi pour la simulation est un ciel clair type (C.I.E) avec un nombre de faces égal à 1024. Enfin les géométries masquées ont été prises en considération. Les autres données exploitées sont : la latitude du site : 45,5° Nord. Les résultats des expérimentations sont présentés dans les tableaux en dessous :



- Expérimentations sur l'îlot A Nord

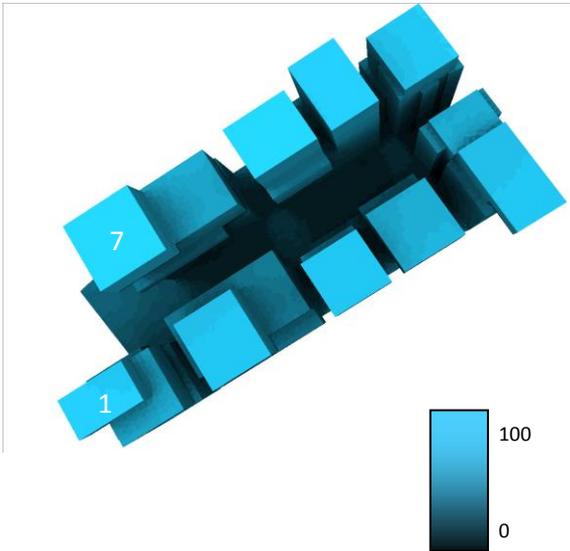
	Les différents îlots	Surface	S.V.F
Ilot A Nord		Géométrie	0.43
		Sur-Verticale	0.34
		Sur-Horizontale	0.82
		<p>Nous pouvons remarquer après analyse des résultats, que l'îlot A Nord affiche le second bon pourcentage de ciel visible de tout le projet avec 43% de ciel visible. Ce bon résultat est dû probablement à l'aspect géométrique de l'îlot (manque de jeu de volume et la simplicité des bâtiments A.B.C). Le point négative de cette disposition concerne le dimensionnement des vides et des percements notamment entre les volumes A et B, B et C, B-C et D où on constate que les percements s'obscurcissent plus on avance vers le bas, résultat d'une disposition très serrée des bâtiments. Nous remarquons aussi que, les toitures des quatre bâtiments possèdent un fort pouvoir d'échange avec le ciel.</p>	

- Expérimentations sur l'îlot A Sud

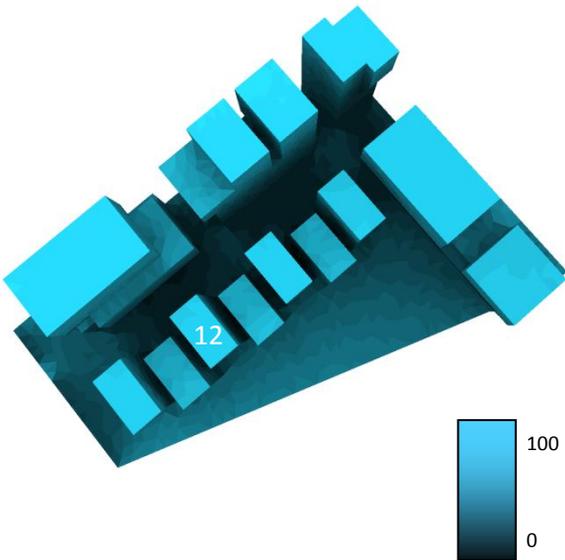
	Les différents îlots	Surface	S.V.F
Ilot A Sud		Géométrie	0.41
		Sur-Verticale	0.36
		Sur-Horizontale	0.68
		<p>les résultats de l'expérimentation sur l'îlot A Sud affichent un pourcentage de ciel visible de 41%. Le cœur d'îlot est moins sombre que celui de la partie Nord. Ce constat et le résultat d'une organisation aérée des bâtiments, dégageant ainsi un cœur d'îlot bien ouvert. On observe aussi, que plus on s'éloigne des percements vers l'intérieur plus le facteur de vue de ciel diminue. Un autre constat que l'on observe, concernent les faces verticales. Ces dernières échangent faiblement avec le ciel et sont quasiment obstruées par l'environnement notamment près du sol. En fait, plus les faces s'éloignent de la partie basse des parois et des façades plus elles voient le ciel.</p>	



- Expérimentations sur l'îlot B Sud

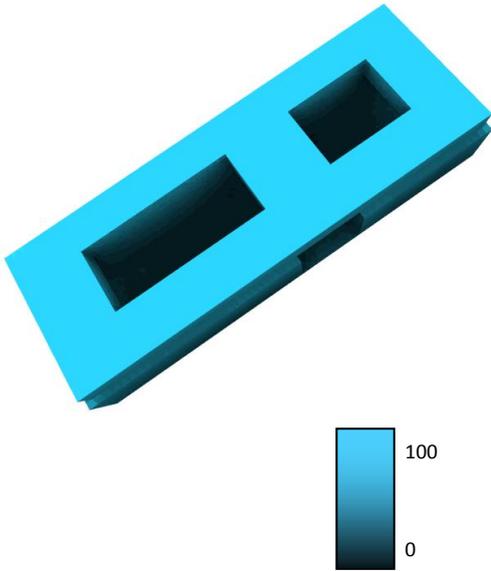
Nom	Les différents îlots	Surface	S.V.F
Ilot B Sud		Géométrie Sur-Verticale Sur-Horizontale	0.37 0.30 0.71
		<p>L'analyse de l'organisation de l'îlot, nous dévoile une disposition assez compacte des bâtiments, et que les embrasures entre les volumes sont très serrées avec moins de 10% de facteur de vue de ciel que la partie Sud de l'îlot A. Le cœur d'îlot est très sombre exception faite pour le percement entre les bâtiments 1 et 7. On constate aussi que les toitures des bâtiments voient clairement le ciel. Contrairement aux surfaces verticales surtout qui donnent sur le cœur d'îlot. Ces derniers aperçoivent moins de ciel notamment lorsqu'on s'approche du sol.</p>	

- Expérimentations sur l'îlot B Nord

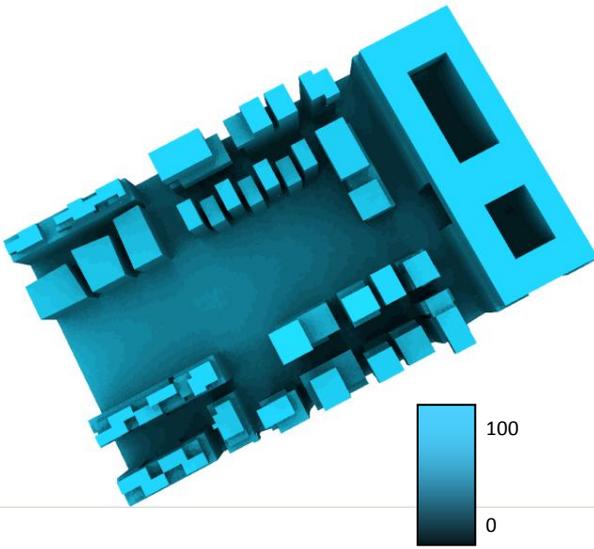
Nom	Les différents îlots	Surface	S.V.F
Ilot B Nord		Géométrie Sur-Verticale Sur-Horizontale	0.36 0.29 0.78
		<p>L'îlot B Nord est l'îlot le plus sombre de tout le projet Lyon Confluence avec 36% de ciel visible. Ce fait et le résultat du grand nombre de surfaces qui se trouvent sous des volumes en surplomb, et de la proximité des volumes les uns des autres d'une part, et de l'organisation assez compacte de certains bâtiments d'autre part, notamment les volumes du bâtiment 12.</p> <p>Même remarque peut être faite concernant les facettes des parois qui donnent sur le cœur d'îlot. Ces derniers n'échangent que faiblement avec le ciel.</p>	



- **Expérimentations sur l'îlot**

Nom	Les différents îlots	Surface	S.V.F
Ilot C		Géométrie	0.46
		Sur-Verticale	0.32
		Sur-Horizontale	0.94
		<p>L'îlot C, est la géométrie urbaine qui présente le plus grand pourcentage du facteur de vue de ciel du projet Lyon Confluence avec 46% de ciel visible. On constate clairement que la toiture du bâtiment est très bien éclairée (94% de ciel visible) et que même les parois latérales présentent des bons pourcentages. Ces résultats satisfaisants sont due en fait, à la configuration géométrique de l'îlot et de sont voisinages, constitué principalement de larges rues bien espacés et par la grande superficie de la toiture qui le revête. Nous pouvons donc déduire que cette forme favorise les échanges thermiques et lumineux.</p> <p>Malgré tous ces avantages, l'îlot C présente un grand problème. Ce problème est lié aux deux patios de l'îlot. Deux trous noirs et sombres, produisant un éclairage insuffisant à l'intérieur des logements.</p>	

- **Expérimentations sur tout le projet Lyon confluence**

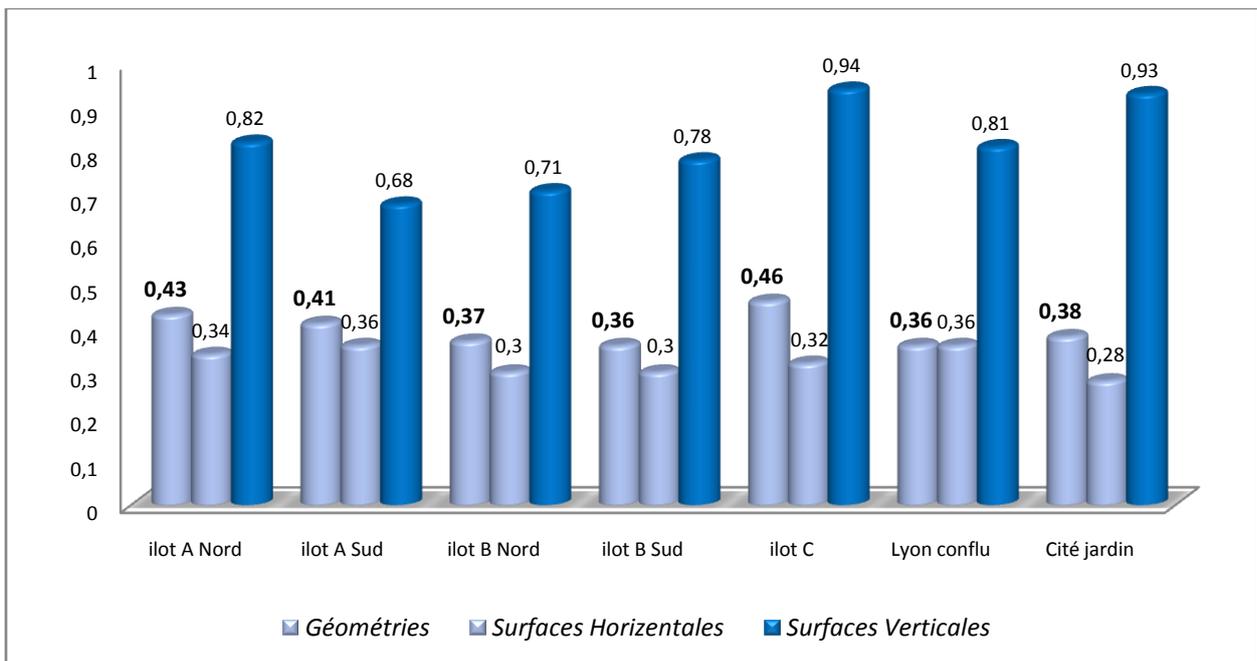
Nom	Les différents îlots	Surface	S.V.F
Lyon Confluence		Géométrie	0.36
		Sur-Verticale	0.36
		Sur-Horizontale	0.81
		<p>L'analyse de l'image nous dévoie une organisation serrée et compacte des îlots laissant place à un vaste espace pour le jardin central bien éclairé. On constate aussi que les toitures sont bien ouvertes et voient très clairement le ciel alors que les parois des façades notamment celles qui donnent sur les cœurs d'îlots ainsi que ces derniers sont sombres.</p>	



• **Expérimentations sur le projet de la cité jardin**

	Les différents îlots	Surface	S.V.F
Cité Jardin		Géométrie	0.38
		Sur-Verticale	0.28
		Sur-Horizontale	0.93
		<p>La cité jardin présente une organisation des volumes plus au moins symétrique dégageant ainsi plus de vide entre les bâtiments. Malgré cette disposition, le tissu a un facteur de vue de ciel de 0.38 presque assimilable à celui de Lyon Confluence. Cela peut être dû aux décrochements qui se présentent sur tous les volumes créant des zones d'ombre et de masque. Les cœurs des bâtiments sont assez éclairés notamment les croisements des bâtiments le long du parcours central ou on voit clairement des cercles bien éclairés, exception faite bien sur pour le bâtiment en forme U, avec son noyau très sombre.</p> <p>les toitures de la cité sont très bien éclairées et voient très bien le ciel alors que les parois des façades et celles donnant sur le cœur d'îlot U s'assombrissent plus en s'éloignant des toitures.</p>	

Histogramme des valeurs de facteurs de vue de ciel pour les deux tissus





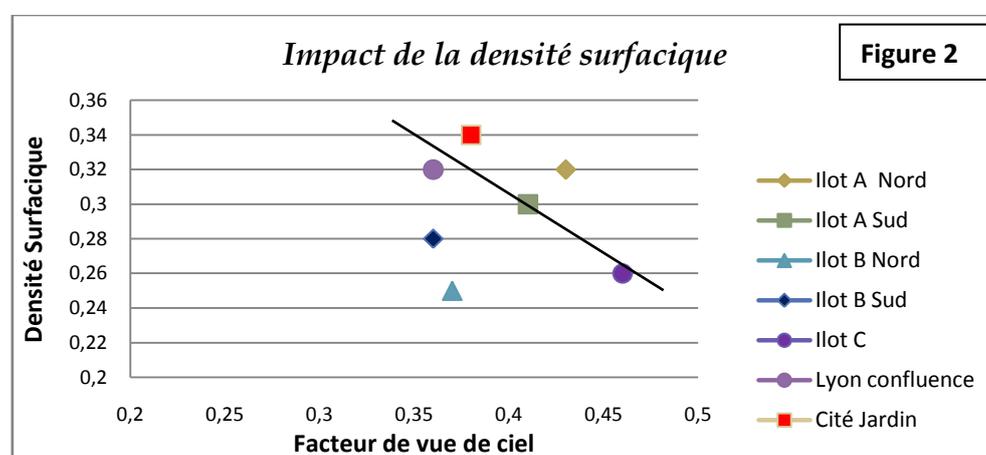
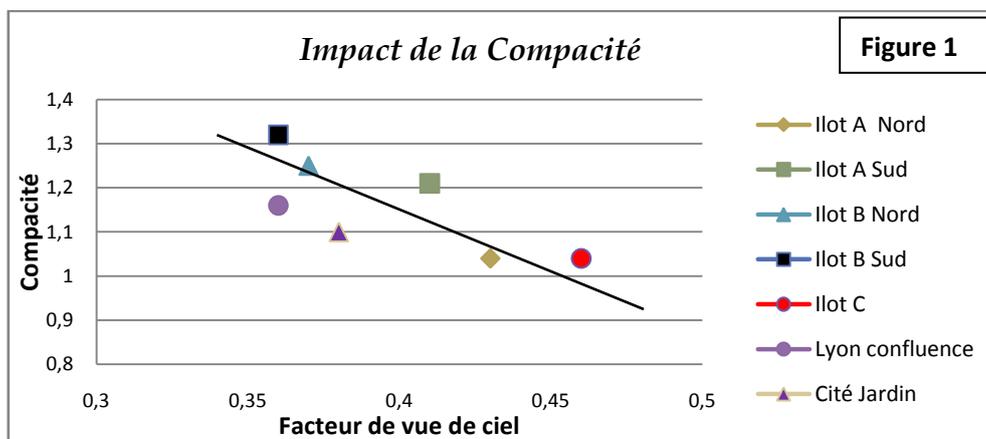
- **Analyse de l'histogramme :**

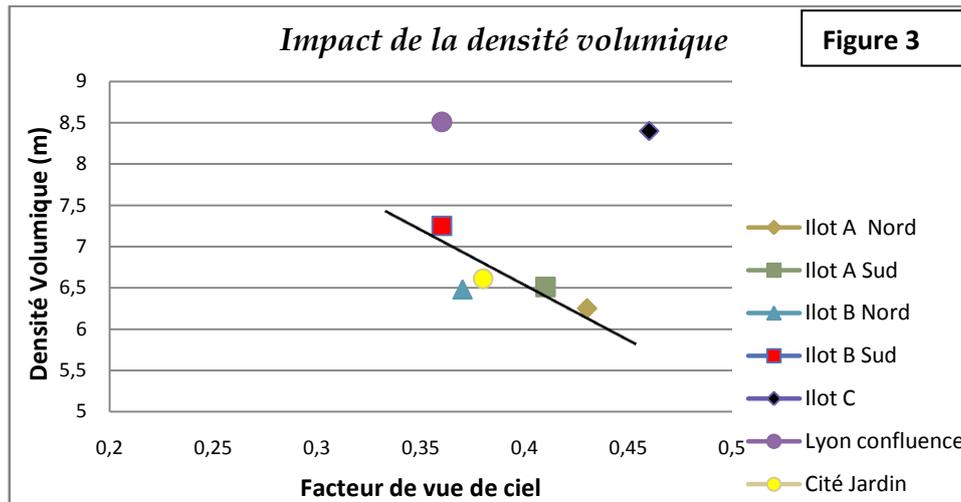
L'analyse de l'histogramme montre distinctement, que les surfaces horizontales est notamment les toitures possèdent un grand pourcentage de ciel visible et voient clairement le ciel. Une géométrie qui présente un grand rapport de surface horizontale et notamment une grande proportion de toiture, affiche des valeurs de facteur de vue de ciel assez importante.

Les autres résultats relatifs aux surfaces verticales sont presque similaires à celles des géométries, singularité faite pour l'îlot C et l'îlot A Nord. Cette anomalie est due probablement à la grandeur de leurs surfaces de toiture par rapport aux autres îlots. Ce qui nous ramène à conclure que le rapport des façades verticales dans une géométrie influe beaucoup sur les valeurs S.V.F. Plus ce rapport est grand, plus le facteur S.V.F d'un bâtiment diminue.

3.2. Etude de l'impact des indicateurs morphologiques sur le facteur de vue de ciel

Afin de mieux analyser les interactions entre les indicateurs de la densité morphologique (compacité, densité surfacique, densité volumique) et les indicateurs géométriques (facteur de vue de ciel). Une analyse croisée a été faite, afin de mesurer l'impact et les interactions de ces indicateurs les uns sur les autres. Les résultats de cette analyse sont présentés dans les graphes ci-dessous.





Résultats de l'étude de l'impact de des indicateurs morphologiques sur le facteur de vue de ciel

- **Analyse des résultats:**

Les résultats de ces histogrammes nous dévoilent l'existence de plusieurs interdépendances entre le facteur de vue de ciel et les indicateurs morphologiques :

- **La compacité / facteur de vue de ciel (figure 1):** Les résultats du premier graphe montre distinctement une bonne corrélation entre la compacité et le pourcentage de ciel visible. L'analyse des résultats dévoile que lorsque la compacité diminue, le facteur de vue de ciel augmente.
- **Densité surfacique / facteur de vue de ciel (figure 2) :** On s'aperçoit après l'analyse de l'histogramme correspondant que les valeurs représentatives des deux indicateurs ont une relation linéaire, signe de l'existence d'un rapport entre la densité surfacique et le facteur de vue de ciel. lorsque la densité surfacique diminue, les valeurs du pourcentage de ciel visible se réduisent. Exceptions faite pour l'îlot C. Ce dernier présent des résultats contradictoire. Cela est dû probablement à la grandeur de la surface de sa toiture qui capte un grand pourcentage (98%) de ciel visible.
- **Densité volumique / facteur de vue de ciel (figure 3) :** On ce qui concerne l'impact de la densité volumique. L'analyse a dévoilé l'existence d'une relation entre la densité des volumes et le pourcentage de ciel visible de ces derniers. Les résultats montrent que lorsque la densité volumique d'une géométrie augmente, son pourcentage de vue de ciel diminue. Exception faite pour l'îlot C, cela est dû vraisemblablement à l'ampleur de sa densité volumique (8.41m) et de sa toiture qui voie un grand pourcentage de ciel visible. Cette forte densité à eu des répercussions sur les résultats du projet confluence on augmentant sa densité volumique à (8.51 m).



Conclusions

1. Le pourcentage des surfaces horizontales dans une géométrie est un facteur influant sur son pourcentage de vue de ciel. Lorsqu'une géométrie présente plus de surface horizontale, son pourcentage de ciel visible augmente ;
2. Les géométries simple est compactes (îlot C, bâtiments A, B, C de l'îlot A Nord) ont des facteurs de vue ciel supérieurs aux géométries fragmentées est complexes (qui affichent des jeux de volume) ;
3. L'aménagement urbain des bâtiments ainsi que le dimensionnement des percements jouent un rôle très important sur le pourcentage de ciel visible des îlots. Une organisation serrées et fractionnées des tissus, voit moins de ciel qu'une organisation ouverte et aérée ;
4. On préconise d'éviter les décrochements dans les volumes bâtis et notamment dans les toitures (îlot A Sud) ainsi que les sortie d'éléments horizontaux on porte a faux. Plus une géométrie présentent des décrochements et plus sont facteur de vue de ciel diminue ;
5. La densité volumique et la densité surfacique influent elles aussi sur le facteur de vue de ciel. Les études ont montré que plus la hauteur équivalente répartie des volumes d'un tissu est grand, plus sont facteur de vue de ciel diminue, lorsque la densité surfacique d'un îlot est petite (organisation serrée et compacte), son pourcentage de ciel visible diminue.

4. Analyse physique des deux tissus urbains :

4.1. L'albédo des surfaces :

L'albédo d'une surface est le ratio entre le flux court longueur d'onde global réfléchi et le flux incident correspondant. Il prend en compte les composantes directes et diffuses de ces flux. En général, dans les calculs du bilan énergétique de surface, l'albédo renvoie à une valeur intégrée sur l'ensemble des longueurs d'ondes.

- **Méthode de calcul :**

Les deux programmes de calcul du flux solaire global incident et de l'énergie solaire après réflexion, sont exécutables automatiquement sur des fichiers de base du logiciel SOLENE (Voir guide Solène). Ces derniers permettent le calcul et la simulation en rendant compte des caractéristiques spatiales des tissus.

Dans le cadre de notre travail, les deux flux globaux incidents et réfléchis ont été mesurés pour trois journées différentes. La première journée correspond à celle du solstice d'été (21 juin), la seconde date prévue pour les simulations et celle de l'équinoxe (21 mars). Enfin, la troisième date correspond au solstice d'hiver (21 décembre). Le choix de ces trois périodes de simulation a été effectué afin de calculer l'albédo des différentes géométries et de mesurer l'impact de la hauteur solaire (azimut solaire) sur la quantité d'énergie réfléchie par les deux tissus urbains.



La première phase de l'expérimentation consiste à entrer les données nécessaires au logiciel pour exécuter les simulations. Premièrement, la démarche comprend l'ouverture de la géométrie destinée à la simulation. L'étape suivante, consiste à définir les propriétés solaires (absorption et réflexion) des différents matériaux des facettes et des toitures pour la géométrie choisie, sur la base des matériaux du logiciel.

Une fois la procédure terminée, pour chaque face on attribue le matériau qu'il lui correspond. Ensuite, une phase de triangulation est appliquée sur toute la géométrie plus le sol. Par souci de précision, cette triangulation a été opérée sur une maille de l'ordre de trois mètres. Le ciel choisi pour la simulation, est un ciel clair, modèle radiance, type (C.I.E) avec un nombre de faces de 1024. Enfin, la dernière étape consiste à prendre en compte la géométrie masque afin de prendre l'environnement immédiat en considération.

Une fois toutes les données rentrées, commence la deuxième phase de la simulation. En premier lieu une simulation des masques est nécessaire pour activer l'icône de la simulation de l'énergie solaire -composante directe-. L'étape suivante consiste à définir un modèle de radiance solaire de ciel pour les trois dates de simulation afin d'activer l'icône de la simulation de l'énergie solaire -composante diffuse-.

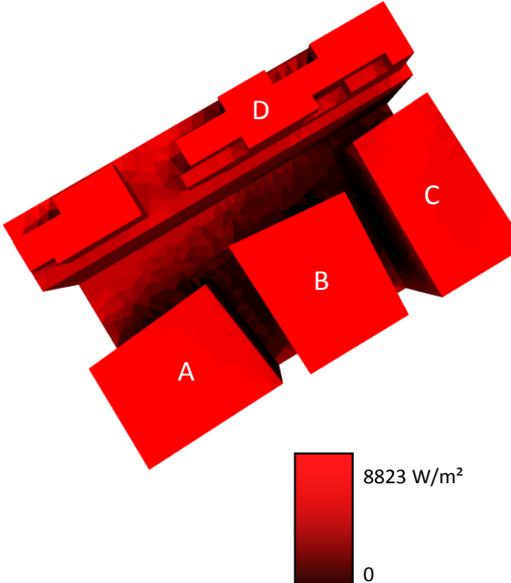
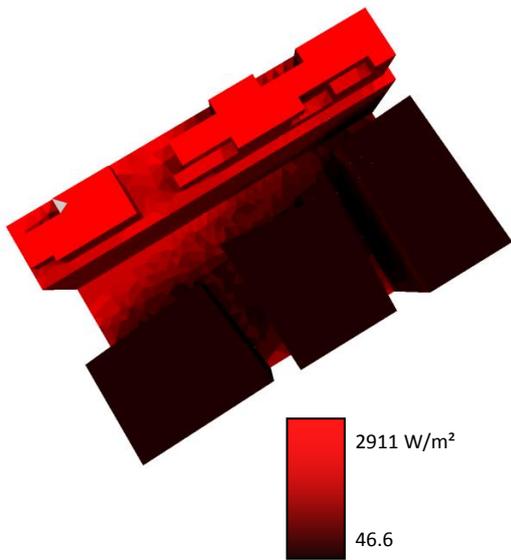
Une fois les simulations des deux composantes terminées pour la journée choisie, la troisième partie comprend la simulation de l'énergie solaire globale incidente, cette dernière, est calculée par l'addition de l'énergie solaire directe incidente et l'énergie solaire diffuse incidente. Enfin, pour le calcul de l'énergie solaire après réflexion, il faut tout d'abord calculer le facteur de forme de la géométrie en prenant en compte la géométrie masque afin de mesurer les inter-réflexions. Une fois le facteur de forme mesuré l'icône de simulation de l'énergie solaire après réflexion est activée et la simulation peut être exécutée.

- **Exploitation des résultats**

Les résultats de la simulation sont difficiles à exploiter, car ils mesurent les flux solaires globaux incidents et l'énergie solaire après réflexion pour chaque heure de la journée choisie. Afin de mieux exploiter ces résultats, la démarche comprend la création deux descripteurs de calcul, un pour l'énergie globale incidente et l'autre pour l'énergie solaire après réflexion, ces deux descripteurs résultent de l'addition des autres descripteurs qui correspondent à chaque heure de simulation et à chaque type de calcul. Après ce calcul, on obtient deux descripteurs, le premier correspond à l'énergie globale incidente et le second à l'énergie solaire après réflexion pour toute la journée de la simulation. Enfin pour le calcul de la somme de chaque descripteur pour tout la journée, certaines fonctions externes sont développées par le laboratoire CERMA, ces fonctions ne sont pas accessibles par l'interface Solène mais peuvent être exécutées en Dos (fenêtre DOS ou d'une fenêtre "invite de commande). Pour notre simulation, la fonction qui nous permet d'avoir des valeurs statistiques d'un descripteur et la fonction (Analyse_cir_val), cette fonction permet l'analyse des valeurs d'un descripteur pour un fichier de géométrie: valeur cumulée, valeur moyenne, valeur moyenne pondérée...

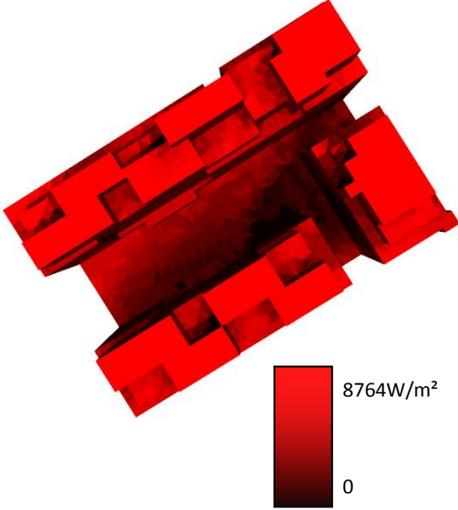
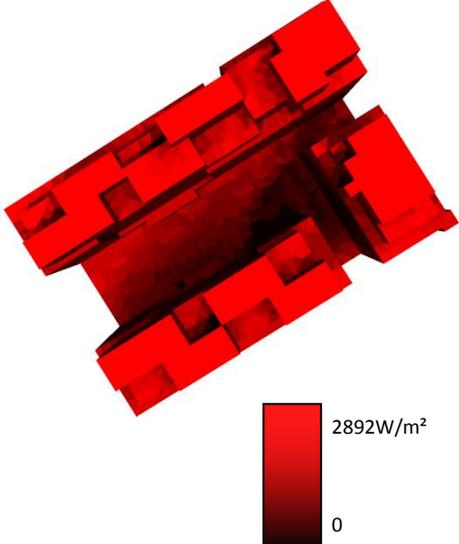


- Expérimentations sur l'îlot A Nord

Nom	Les images des simulations	Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energies globale réfléchi (W/m ²)	Albédo
Ilot A Nord	 <p data-bbox="204 1164 603 1220">Energie globale incident, 21-6</p>	Solstice d'été 21-6	3188	659	0.20
		Equinoxe 21-3	2067	411	0.19
		Solstice d'hiver 21-12	774	155	0.20
	 <p data-bbox="204 1892 694 1948">Energie solaire réfléchie, 21-6</p>	<ul style="list-style-type: none"> On observe que les toitures et les faces supérieures de l'îlot A Nord interceptent une grande quantité d'énergie solaire incidente. L'orientation ainsi que la diminution du facteur de vue de ciel influe beaucoup sur le captage de l'énergie solaire par les surfaces. Les images montrent clairement des zones sombres dans le cœur de l'îlot et dans les percements des bâtiments. On constate aussi la bonne correspondance entre cette image est celle de la simulation du facteur de vue de ciel. L'analyse des résultats de l'énergie solaire réfléchie, nous montre clairement trois volumes noirs qui reflètent un faible pourcentage et absorbent presque la totalité des rayons solaires. Cela s'explique par le faible coefficient de réflexion du vitrage (0.08). Cependant, le bâtiment D présente par contre lui des résultats satisfaisants à cause du pouvoir de réflexion assez élevé qui caractérise ces matériaux par rapport aux trois volumes précédents. On remarque aussi que les zones ombrées on un faible pouvoir de réflexion, on conclut pour ce cas, que l'orientation participe à la diminution de la réflexion des surfaces. Enfin, on note que la hauteur solaire joue un rôle infime sur les valeurs d'albédo. les résultats sont presque identiques pour les trois journées de la simulation. 			

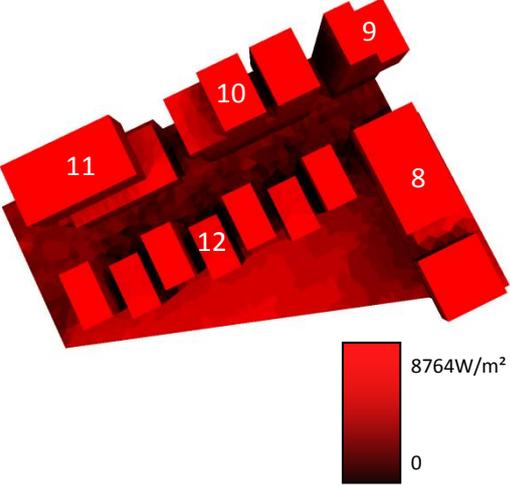
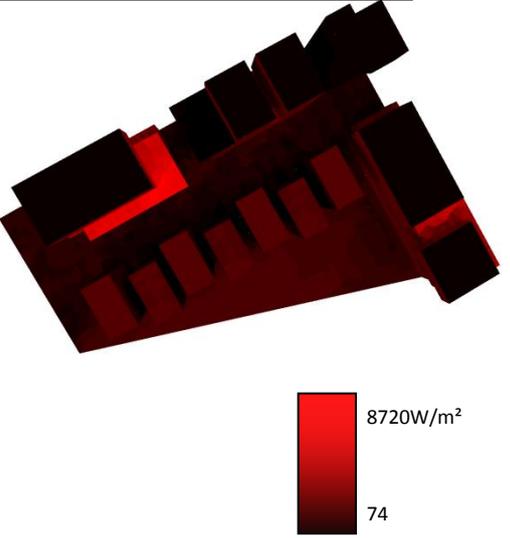


- **Expérimentations sur l'îlot A Sud**

Nom	Les images des simulations	Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie globale réfléchi (W/m ²)	Albédo
Ilot A Sud	 <p data-bbox="229 1106 646 1167"><i>Energie globale incident, 21-6</i></p>	Solstice d'été 21-6	3040	878	0.29
		Equinoxe 21-3	1974	534	0.27
		Solstice d'hiver 21-12	750	191	0.25
	 <p data-bbox="209 1872 718 1933"><i>Energie solaire réfléchie, 21-6</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • On observe que la partie Sud de l'îlot A présente moins de zone sombre comparé à la partie Nord. Cela est le fruit de son organisation spacieuse et large et les valeurs assez élevées des coefficients de réflexion de ses matériaux d'enveloppe. On observe aussi que les facettes nord ne captent pas d'énergie solaire. Cependant, les toitures, les facettes Est et notamment Sud et Ouest du bâtiment Darse captent pratiquement la totalité de l'énergie solaire incidente. • Malgré son organisation ouvertes par rapport à celles de la partie Nord qui est plus compacte, la quantité d'énergie solaire capté par la partie Nord est supérieure à celle de la partie Sud, cela est dû probablement à la présence de décrochements dans les toitures de la partie Sud produisant ainsi plus de zones ombrées. Donc on conclut que les décrochements les jeux de volumes notamment dans les toitures diminuent la quantité d'énergie globale incidente. • les résultats de la simulation de l'énergie solaire réfléchi montrent que les surfaces qui captent plus d'énergie solaire sont celles qui reflètent plus de rayons solaires. Les résultats du calcul de l'albédo des surfaces pour les trois dates de simulation dévoilent que la hauteur solaire a influé sur la réflexion des surfaces, cette diminution et régulière, elle est de l'ordre de 0.2 pour chaque date. Comparativement aux résultats des îlots B. On peut supposer que ces faibles valeurs d'albédo sont dues probablement au pourcentage de vitrage très élevée dans les façades qui est de 62%. 			

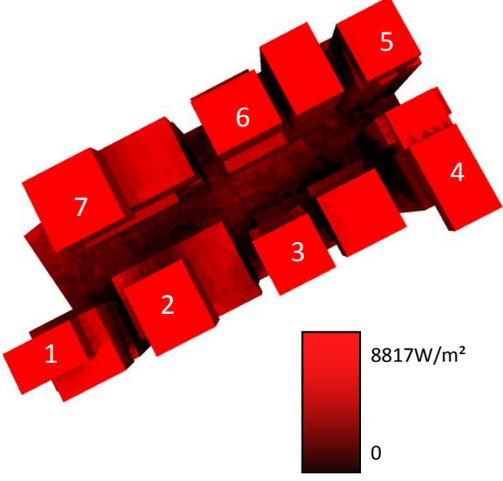
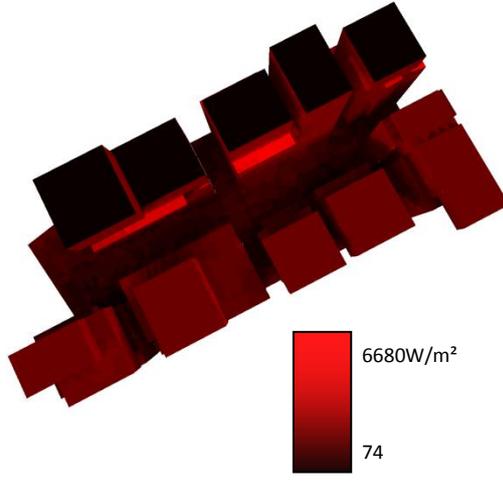


- Expérimentations sur l'îlot B Nord

Nom	Les images des simulations	Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie globale réfléchi (W/m ²)	Albédo
Ilot B Nord		Solstice d'été 21-6	2751	1635	0.48
		Equinoxe 21-3	1613	796	0.49
		Solstice d'hiver 21-12	433	221	0.51
		<ul style="list-style-type: none"> On observe que les bâtiments de l'îlot B Nord reçoivent moins d'énergie solaire par rapport aux deux parties de l'îlot A. Cela est dû probablement, à l'organisation fragmentée en plusieurs portions qui caractérise les volumes de l'îlot B comparé à celle qui décrit les bâtiments de l'îlot A et qui est assez compacte. Le jeu de volumes qui caractérise les bâtiments 8, 10 et 11 crée des zones d'ombre qui ne reçoivent pas d'énergie solaire directe et dû coup leur pouvoir de réflexion et très faible. Concernant l'énergie solaire réfléchie, l'image de la simulation montre plusieurs surfaces noires et sombres qui caractérisent les toitures des bâtiments 8, 9, 10, et 11 et qui absorbent presque la totalité de l'énergie solaire incidente. Cela s'explique par la forte capacité d'absorption des panneaux photovoltaïques (95%) qui recouvrent ces toitures. D'un autre côté, et contrairement aux panneaux photovoltaïques, certains surfaces qui se caractérisent par leurs fort pouvoir de réflexion comme l'inox (0.95) et l'aluminium (0.85), rayonnent et reflètent une grande quantité d'énergie solaire. On note aussi que la hauteur solaire n'a pas exercé une grande influence sur les valeurs d'albédo. On remarque pour ce cas un léger avantage pour le solstice d'hiver lorsque la hauteur est faible. 			

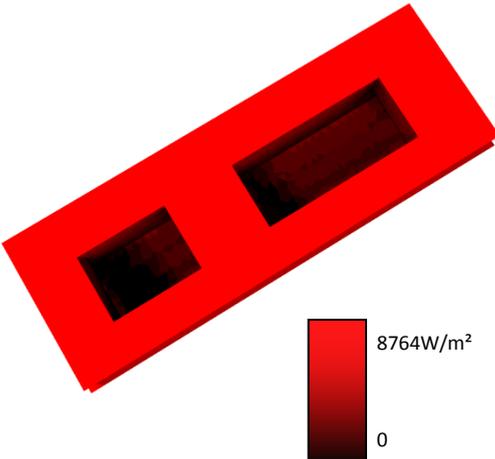
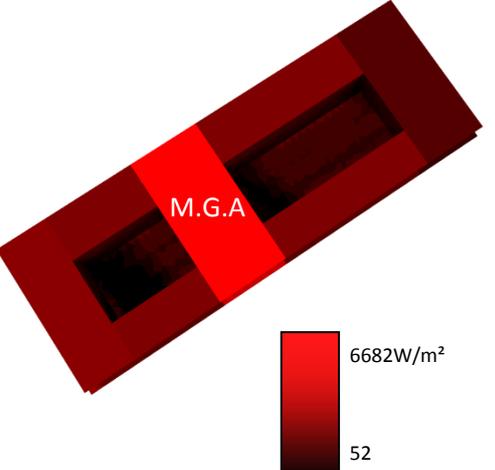


- Expérimentations sur l'îlot B Sud

Nom	Les images des simulations	Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie globale réfléchi (W/m ²)	Albédo
Ilot B Sud	 <p data-bbox="215 1025 635 1093"><i>Energie globale incident, 21-6</i></p>	Solstice d'été 21-6	2370	1607	0.67
		Equinoxe 21-3	1615	1181	0.73
	 <p data-bbox="215 1641 722 1709"><i>Energie solaire réfléchie, 21-6</i></p>	Solstice d'hiver 21-12	664	516	0.77
<ul style="list-style-type: none"> Les résultats de l'expérimentation ont montré que l'îlot B Sud, et l'îlot qui capte le minimum d'énergie solaire incidente comparé aux autres îlots du projet confluence. Ce tissu qui se caractérise par sa forte compacité, par le fractionnement et le jeu de ces volumes on surplomb empêche les rayons solaires d'atteindre les parties bases, créant ainsi plus de zones ombrées. On note aussi les mêmes remarques faites pour la partie nord. La couleur noire qui caractérise les toitures des bâtiments 5, 6, 7, est due en fait, a la forte absorption des rayons solaires par les panneaux photovoltaïques. On remarque aussi que certaines surfaces rayonnent une grande quantité de lumière. Ces surfaces sont revêtues par des matériaux qui ont un fort pouvoir de réflexion comme l'inox, le cuivre, l'aluminium. Contrairement aux résultats de la partie Nord la hauteur solaire a eu des répercussions sur la les valeurs d'albédo mais inversement. La valeur d'albédo la plus haute à été enregistré pour le solstice d'hiver. On note pour ce cas plus la hauteur solaire est faible plus les valeurs d'albédo sont culminantes. 					

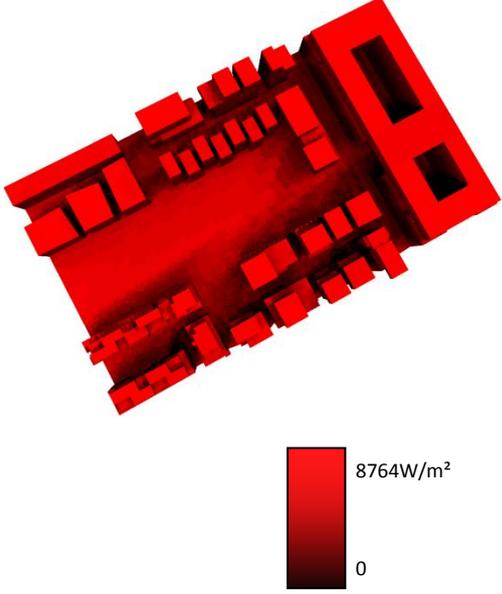
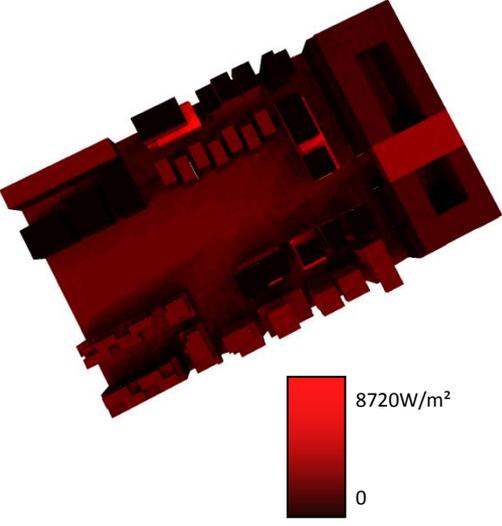


- Expérimentations sur l'îlot C

Nom	Les images des simulations	Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie globale réfléchi (W/m ²)	Albédo
Ilot C	 <p>Energie globale incident, 21-6</p>	Solstice d'été 21-6	3295	884	0.26
		Equinoxe 21-3	2022	538	0.26
		Solstice d'hiver 21-12	622	163	0.24
	 <p>Energie solaire réfléchie, 21-6</p>	<ul style="list-style-type: none"> L'îlot C est l'îlot qui capte la plus grande quantité d'énergie solaire incidente par rapport aux autres îlots. Ce fort potentiel de captage peut être expliqué par la grande surface de sa toiture et par l'organisation de l'îlot on volumétrie compacte. A propos des résultats de la simulation de l'énergie solaire réfléchie. L'image démontre que les cinq parties qui composent ce monolithe ont une capacité de réflexion différente les uns des autres. Cela s'explique par la différence des propriétés de réflexion des matériaux qui composent ces parties. On constate très bien que s'est la partie M.G.A revêtue d'inox qui présente le plus grand potentiel de réflexion. On note aussi que le pourcentage de vitrage dans ce monolithe représente 62% de la surface totale revêtue. Ce qui influe beaucoup sur la quantité d'énergie solaire renvoyée. L'influence de la hauteur solaire sur les valeurs d'albédo est infime. On constate un léger avantage dans les valeurs pour le solstice d'été et l'équinoxe par rapport au solstice d'hiver. Cela peut être dû au pourcentage de vitrage dans les façades. Cette hypothèse à été posée car les résultats de cette simulation correspondent beaucoup à celle de l'îlot A Sud qui affiche le même pourcentage de vitrage. 			

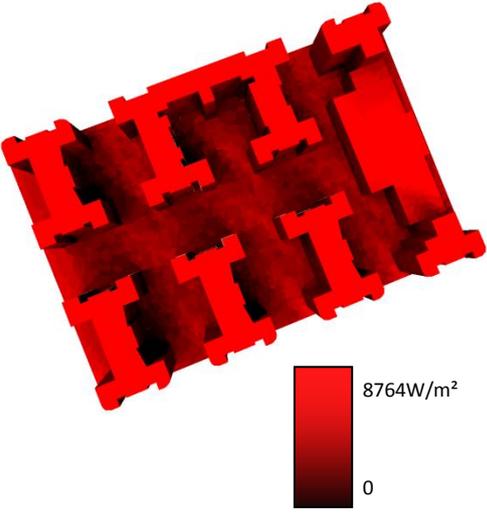
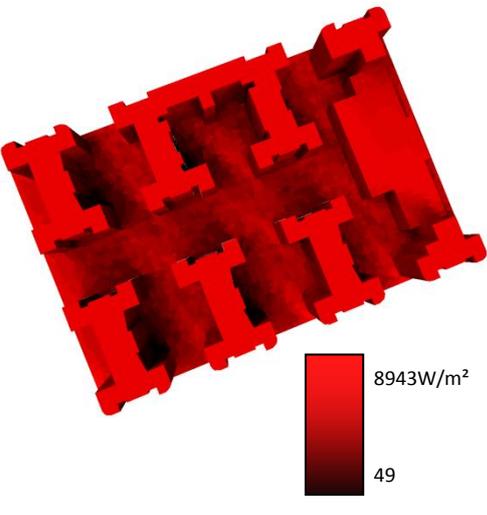


- **Expérimentations sur tout le projet Lyon Confluence**

Nom	Les images des simulations	Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie globale réfléchi (W/m ²)	Albédo
Projet Lyon confluence	 <p data-bbox="220 1122 625 1182"><i>Energie globale incident, 21-6</i></p>	Solstice d'été 21-6	3403	1265	0.37
		Equinoxe 21-3	1903	756	0.39
		Solstice d'hiver 21-12	613	254	0.41
 <p data-bbox="220 1778 715 1839"><i>Energie solaire réfléchie, 21-6</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • En analysant l'image de l'énergie solaire incidente sur tout le projet. On constate que les toitures des bâtiments et le sol du jardin central captent une grande quantité d'énergie solaire incidente. D'autre part, on observe que les cœurs d'îlots et les façades Nord ainsi que les surfaces ombrées reçoivent une quantité d'énergie moins importante. • Les résultats de la simulation de l'énergie solaire réfléchie, montrent diverses surfaces noires qui absorbent des grandes quantités d'énergie solaire. Il s'agit en fait, des surfaces revêtues soit par des panneaux solaires et photovoltaïques ou par le vitrage. On a observé aussi que l'ombre causée par l'orientation des volumes diminue fortement la réflexion des surface qui leurs occupent. Le facteur de vue de ciel joue lui aussi un rôle important sur la réflexion des géométries. On constate clairement que les cœurs d'îlots reflètent une quantité d'énergie médiocre. d'autres parts, les surfaces revêtues par l'inox, aluminium ou le cuivre, reflètent une quantité importante d'énergie solaire. • Le sol du jardin central et les toitures vertes reflètent eux une quantité assez importante d'énergie solaire grâce à leur albédo assez élevé. • La hauteur solaire joue un rôle faible dans la réflexion de l'énergie solaire. On constate pour ce que plus la hauteur est faible plus les valeurs d'albédo sont élevées. 				

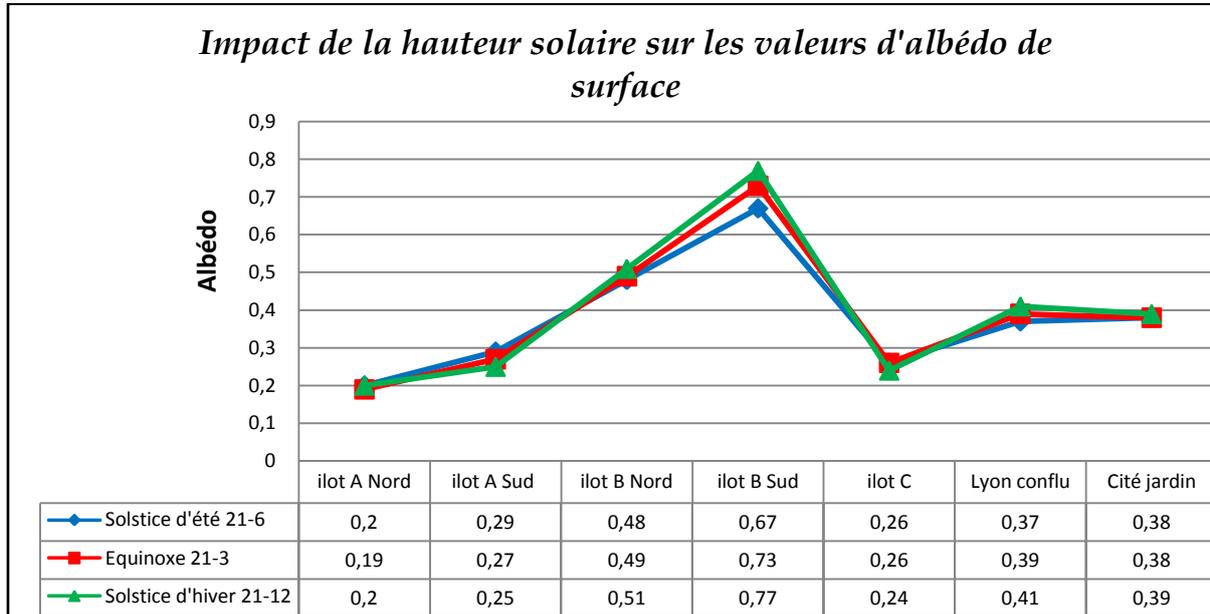


- Expérimentations sur le projet de la cité jardin

Nom	Les images des simulations	Date de simulation	Energie globale incidente	Energie globale réfléchi	Albédo
Projet de la cité jardin	 <p data-bbox="239 1041 654 1108"><i>Energie globale incident, 21-6</i></p>	Solstice d'été 21-6	3273	1260	0.38
		Equinoxe 21-3	1913	742	0.38
		Solstice d'hiver 21-12	556	217	0.39
	 <p data-bbox="239 1668 654 1736"><i>Energie solaire réfléchie, 21-6</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ce sont les toitures qui reçoivent la plus grande quantité d'énergie solaire et se sont eux qui reflètent la plus grosse quantité. L'organisation aérer des volumes de la cité jardin permet aux façades sud, est et ouest de capter une grande quantité d'énergie solaire. • La quantité d'énergie captée par le projet de la cité jardin et moins importantes que celle du projet Lyon confluence. Cela est dû probablement soit la différence du nombre des volumes et la surface bâtie entre les deux tissus urbains soit à la différence qui caractérise l'organisation des volumes. • Les valeurs d'albédo qui caractérisent ce tissu sont quasiment identiques. Cela est dû peut être à l'uniformité des matériaux de construction des façades et leurs coefficients de réflexions assimilables. • On constate pour ce cas, que la hauteur solaire n'a aucun effet sur les valeurs d'albédo. On mentionne un léger avantage dans les valeurs pendant le solstice d'hiver par rapport aux autres dates. 			



4.2. Etude de l'impact de hauteur solaire sur l'albédo des surfaces :



• Analyse de l'histogramme :

L'analyse des courbes de l'histogramme pour les différents tissus, montre nettement que la hauteur solaire n'exerce pas une grande influence sur la réflexion solaire des géométries pour la majorité des tissus. Exception faite, pour la partie Sud de l'îlot B où l'influence s'affiche inversement. Cette pluralité des résultats est due probablement à d'autres paramètres qui n'ont pas été identifiés. Plusieurs questions ont été avancées afin de répondre à ces résultats aléatoires:

1. Quel impact peut avoir le vitrage comme matériaux et son pourcentage dans les façades sur l'albédo des surfaces ? Est ce qu'il existe une interaction entre ce pourcentage et la hauteur solaire ?
2. Est ce que la différence des coefficients de la réflexion des matériaux de face influe sur les valeurs d'albédo des surfaces et sur l'impact de la hauteur solaire ?
3. Quel impact peut avoir le pourcentage de surface par orientation des tissus sur les valeurs d'albédo des surfaces et en fonction de la hauteur solaire ?

Pour répondre à ces suppositions plusieurs simulations et corrélations ont été réalisées. Les résultats de ces recherches sont présentés en dessous.

4.2.1. Etude de l'impact du vitrage sur l'albédo des surfaces :

Afin d'étudier l'impact du vitrage sur la diminution ou l'augmentation de l'albédo des surfaces. On propose de comparer les résultats de deux simulations différentes. Ces deux simulations sont appliquées sur deux tissus urbains. Il s'agit en fait, de l'îlot A Sud et l'îlot C. le choix a été effectué sur ces deux derniers tissus car ils présentent des pourcentages de vitrage assimilables pour les façades avec 62%.



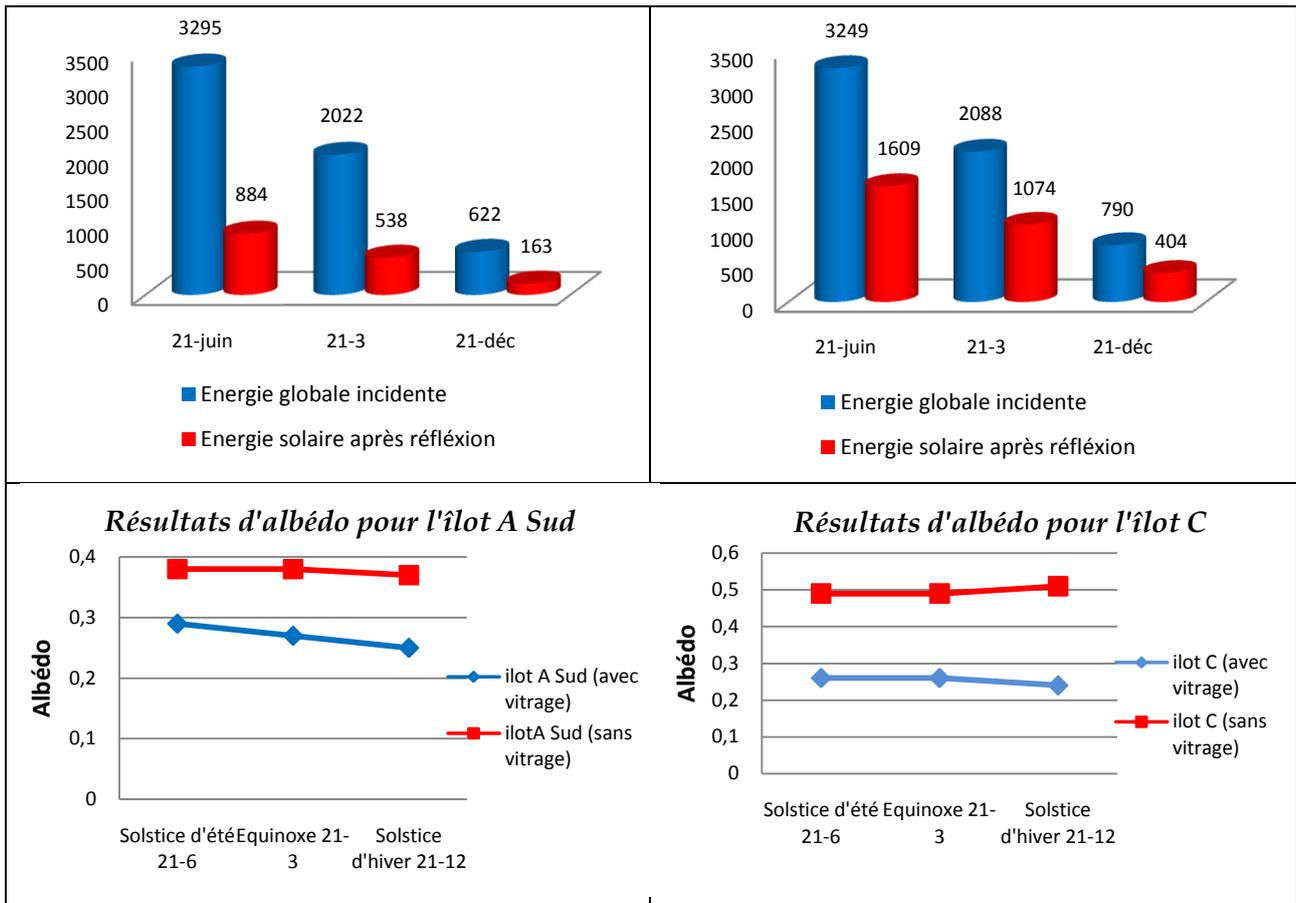
La première simulation, prend en compte le vitrage dans les procédures de calcul des albédos des façades. Alors que pour la second, on suppose que le pourcentage est nul. Ces deux expérimentations sont effectuées pour trois dates différentes, il s'agit du solstice d'été, équinoxe et le solstice d'hiver. Les résultats et l'analysent des deux expérimentations sont affichées dans le tableau en dessous :

Ilot A Sud (62% de vitrage)				Ilot A Sud (0% de vitrage)			
Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie solaire après réflexion (W/m ²)	Albédo	Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie solaire après réflexion (W/m ²)	Albédo
Solstice d'été 21-6	3040	878	0.29	Solstice d'été 21-6	3040	1168	0.38
Equinoxe 21-3	1974	534	0.27	Equinoxe 21-3	1974	761	0.38
Solstice d'hiver 21-12	750	191	0.25	Solstice d'hiver 21-12	750	317	0.37

Date	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie solaire après réflexion (W/m ²)
21-juin	3040	878
21-3	1974	534
21-déc	750	191

Date	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie solaire après réflexion (W/m ²)
21-juin	3034	1168
21-3	1986	761
21-déc	839	317

Ilot C (62% de vitrage)				Ilot C (0% de vitrage)			
Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie solaire après réflexion (W/m ²)	Albédo	Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie solaire après réflexion (W/m ²)	Albédo
Solstice d'été 21-6	3295	884	0.26	Solstice d'été 21-6	3249	1609	0.49
Equinoxe 21-3	2022	538	0.26	Equinoxe 21-3	2088	1074	0.51
Solstice d'hiver 21-12	622	163	0.24	Solstice d'hiver 21-12	790	404	0.51



Résultats de l'étude de l'impact du vitrage sur l'albédo des surfaces de l'îlot A Sud et C.

• **Analyse des résultats**

Les résultats de la simulation montrent clairement que le vitrage joue un rôle important dans la diminution de l'albédo des deux îlots. On a constaté que l'augmentation des valeurs pour la simulation où le pourcentage est nul est de l'ordre de 60% pour l'îlot A Sud et de 90% pour l'îlot C. Les résultats montrent aussi que la hauteur solaire n'exerce aucun rôle influant sur les valeurs d'albédo. On constate un léger avantage de valeurs pour le solstice d'hiver et l'équinoxe pour l'îlot C. Alors que pour l'îlot A, les meilleures valeurs ont été enregistrées pour le solstice d'été et l'équinoxe.

4.2.2. Etude de l'impact de la différence des coefficients de réflexion des matériaux sur l'albédo des surfaces :

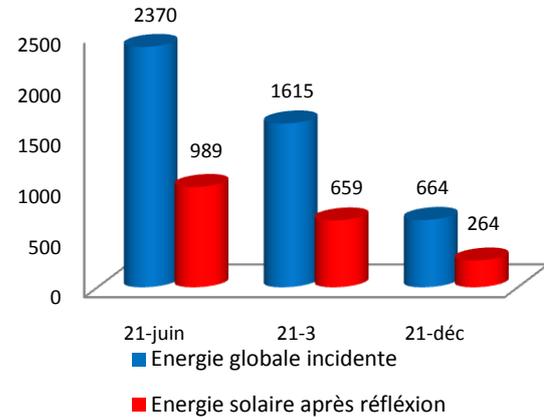
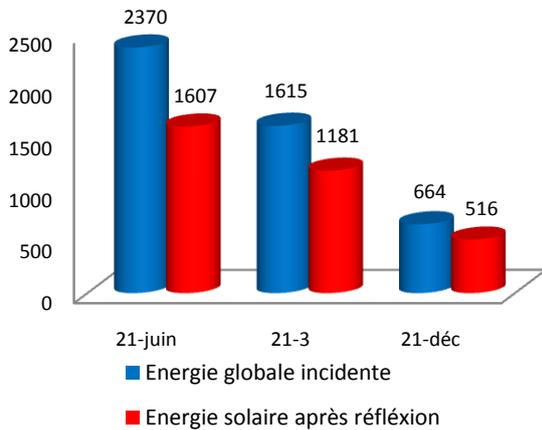
Les résultats de la simulation pour le calcul d'albédo des surfaces de la partie Sud de l'îlot B, ont fait apparaître plusieurs questions, notamment les résultats contradictoires liés à l'impact de la hauteur solaire sur les valeurs d'albédo, comparé aux résultats des autres îlots.

Ce constat nous a mené à comparer les résultats de deux simulations sur l'îlot B Sud. La première expérimentation prend en considération la diversité des matériaux de revêtement et leurs coefficients de réflexion hétérogène. Alors que pour la seconde simulation on a proposé deux

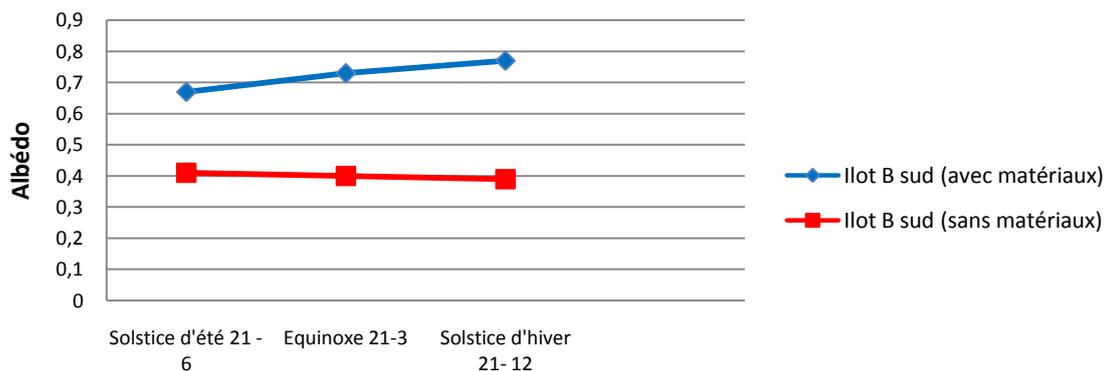


matériaux homogènes pour les divers volumes de l'îlot avec des facteurs de réflexion identique. Pour les toitures, on propose un coefficient de réflexion de 0.40 et 0.35 pour les facettes verticales. Les résultats des deux expériences sont affichés dans le tableau en dessous :

Ilot B Sud (avec pris en considération de l'albédo des matériaux)				Ilot B Sud (sans pris en considération de l'albédo des matériaux)			
Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie solaire après réflexion (W/m ²)	Albédo	Date de simulation	Energie globale incidente (W/m ²)	Energie solaire après réflexion (W/m ²)	Albédo
Solstice d'été 21-6	2370	1607	0.67	Solstice d'été 21-6	2370	989	0.41
Equinoxe 21-3	1615	1181	0.73	Equinoxe 21-3	1615	659	0.40
Solstice d'hiver 21-12	664	516	0.77	Solstice d'hiver 21-12	664	264	0.39



Résultats de l'expérimentation sur l'îlot B Sud



Etude de l'impact de la différence des coefficients de réflexion des matériaux sur l'albédo des surfaces.



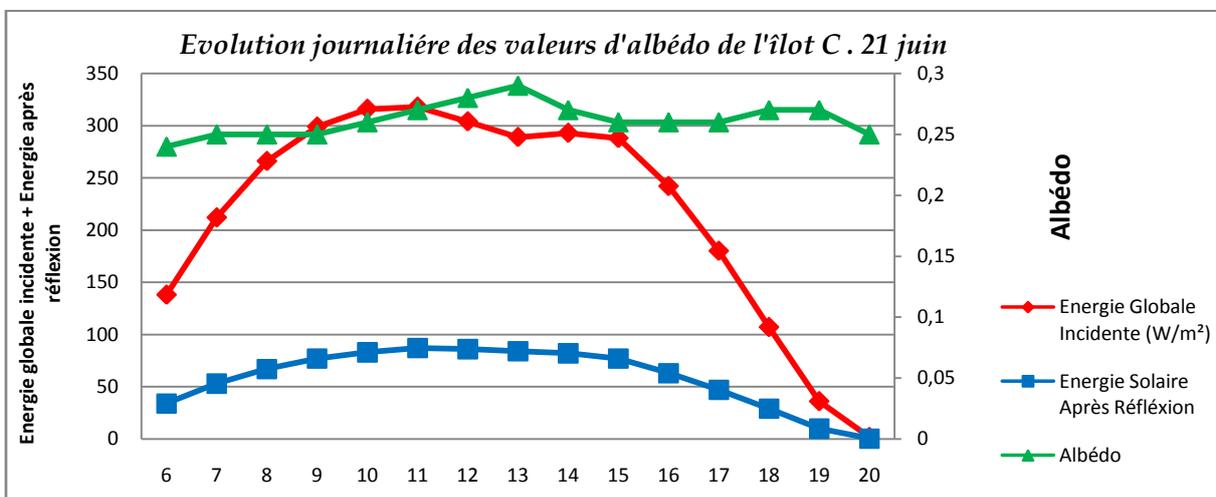
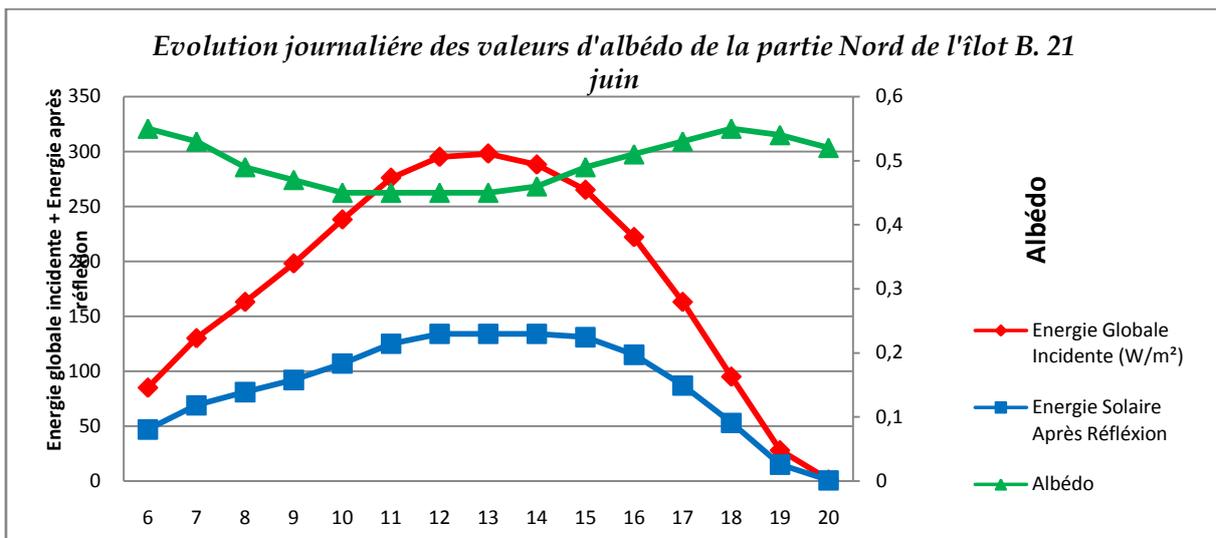
• **Analyse des résultats :**

Les résultats de la simulation affichent distinctement que la diversité des matériaux de construction et leurs coefficients de réflexion jouent un rôle important dans l'augmentation et la diminution des valeurs d'albédo en fonction de la hauteur solaire.

Concernant la seconde simulation, on note que lorsque les matériaux sont homogènes, la hauteur solaire perd son rôle influant sur les valeurs d'albédo affiché dans la première expérimentation. On note un léger avantage pendant la période du solstice d'été.

4.2.3. Etude de l'impact du pourcentage d'orientation des façades sur l'évolution journalière des valeurs d'albédo pour les deux îlots B Nord et C :

Les deux histogrammes présentés ci-dessous représentent l'évolution journalière des valeurs d'albédo des surfaces pour les deux îlots B Sud (29% des surfaces orientés plein Sud) et l'îlot C (12.4% des surfaces orientés plein Sud). Ce calcul des valeurs à pour objectif, l'étude de l'impact du pourcentage d'orientation des facettes les valeurs d'albédo. Ces valeurs de calcul on été enregistrés pour la journée du 21 juin





- **Analyse des résultats**
 - **L'évolution journalière des valeurs d'albédo pour l'îlot B Nord**

Energie globale incidente : l'analyse de la courbe de calcul, affiche un changement du captage de l'énergie solaire en fonction des heures de la journée et de la hauteur solaire. Cette courbe prend la forme d'un îlot avec deux vallées et un sommet. Plus la hauteur solaire est élevée plus le captage s'accroît jusqu'à la saturation (pic) enregistré entre midi et 14 heures.

Energie solaire réfléchi : la lecture de la courbe de calcul nous dévoile une bonne correspondance entre les deux flux incident et réfléchi. Tout d'abord, on remarque une évolution du flux solaire réfléchi en fonction de la progression des heures et jusqu'à midi. A partir de ce moment et jusqu'à 15 heures la quantité du flux réfléchi par les géométries se stabilise. Entre 15 et 20 heures cette quantité commence à décroître jusqu'à ce qu'elle s'arrête à 20 heures.

Albédo : l'examen des résultats de la courbe de calcul, nous montre une diminution constante des valeurs d'albédo entre 6 et 10 heures. Cette diminution laisse après le champ à une période de stabilité qui dure entre 10 et 14 heures. A partir de ce moment, on assiste à une montée des valeurs. Cette progression continue jusqu'à ce qu'il retrouve sa valeur initiale enregistrée à 6 heures.

Ces résultats contradictoires concernant les valeurs d'albédo par rapport à celles trouvées dans la littérature, notamment entre 10 heures et midi où l'azimut solaire est élevé, résultent du fait de la présence des panneaux photovoltaïques aux niveaux des toitures. Ces derniers avec leurs grands pouvoirs d'absorption reflètent une mince quantité d'énergie solaire participant ainsi à la diminution des valeurs d'albédo.

- **L'évolution journalière des valeurs d'albédo pour l'îlot C**

Energie globale incidente : l'analyse de la courbe de l'énergie solaire incidente nous dévoile la présence de deux pics différents enregistrés à 10 et à 14 heures avec une diminution du captage solaire entre les deux moments. Ces résultats pertinents sont dus en fait, au faible pourcentage des faces sud (12.4%) dans la géométrie lorsque le soleil est orienté plein sud, par rapport, aux pourcentages des facettes Est (38.3%) et Ouest (36.9%) qui captent une plus d'énergie solaire que la façade Sud.

Albédo : On constate clairement que les résultats de l'albédo des surfaces qui caractérisent l'îlot C sont contradictoires à ceux de l'îlot B. Cette différence de résultats est due aux matériaux qui revêtent l'îlot C et qui se caractérisent par leur pouvoir de réflexion assez élevé par rapport à ceux de l'îlot B Sud.



Conclusions

1. Suivant la période de l'année les surfaces verticales et horizontales d'une géométrie jouent un rôle très important dans la réflexion des rayons solaire. Pendant la période estivale, ce sont les surfaces horizontales est notamment les toitures qui participent pleinement dans la réflexion des rayons solaires. Ultérieurement et dans la période hivernale, ce sont les façades verticales qui reprennent ce rôle et participent le plus au processus de la réflexion solaire;
2. Afin de mieux exploiter le phénomène d'îlot de chaleur pendant la période hivernale et notamment dans la réduction de la consommation d'énergie. Il est recommandable d'utiliser des revêtements peu réfléchissants pour les façades des bâtiments avec des albédos entre 0.3 et 0.45, afin de bénéficier de l'énergie solaire pour le réchauffement des locaux, et utiliser des matériaux a fort pouvoir de réflexion pour les toitures, afin d'éviter les surchauffes des bâtiments pendant la période estivale. Le choix des matériaux pour le revêtement des bâtiments et un facteur primordial dans ce système. Il dépend beaucoup de l'orientation de ces matériaux par rapport au soleil
3. Selon le cas d'étude, la hauteur solaire joue un rôle optionnel dans la diminution ou l'augmentation de l'albédo des surfaces. Les résultats ont montré, que lorsque les volumes sont revêtus par différents matériaux qui se caractérisent par des coefficients de réflexion hétérogènes, alors les résultats de l'impact de la hauteur solaire varient on fonction de l'orientation des matériaux des façades par rapport au soleil. Cependant, lorsque les matériaux des façades sont homogène, alors la hauteur solaire joue un rôle moins important sur les valeurs d'albédo;
4. Le pourcentage du vitrage dans les façades des bâtiments fait diminuer fortement les valeurs d'albédo des surfaces. C'est un paramètre capital, les résultats ont montré que plus ce pourcentage est grand, plus les valeurs d'albédo sont modérées. Afin de limiter l'impact de ce paramètre sur la diminution de l'albédo, des brise-soleils verticaux pour les façades Sud et horizontales pour les façades Ouest constituent des solutions passives.
5. Les coefficients de réflexion des matériaux et notamment celles des toitures sont des facteurs décisifs et qui influent beaucoup sur l'augmentation ou la diminution de l'albédo des surfaces ;
6. La forme du bâtiment et le pourcentage des ces surfaces par orientation par rapport aux quatre directions géographique sont deux facteurs influant sur la quantité du flux globale incidente d'une part et sur les valeurs d'albédo journalière d'autre part ;
7. Les surfaces ombrées ont un pouvoir de réflexion moins important que celui des surfaces éclairées.



Troisième Chapitres

Proposition de l'indicateur et Conclusion Finale

« Nous pouvons définir comme critères de caractérisation des sons, des types de graphismes.⁵ »

⁵ **Peter. Schaeffer**, *A la recherche d'une musique concrète*, seuil, paris, 1952, p .221.



1. Synthèse comparative

L'étape précédente a tracé les caractéristiques morphologiques et environnementales et physiques de chaque tissu. A travers certain nombre de descripteurs nous avons bien identifié les différences morphologiques entre les deux tissus. Ce constat nécessite une étape de corrélation, forme de validation des indicateurs analysés afin de caractériser les tissus urbains dans un contexte environnemental.

La comparaison de ces données devra nous permettre de faire émerger les descripteurs morphologiques les plus robustes. A ce niveau, plusieurs directions de corrélation sont possibles :

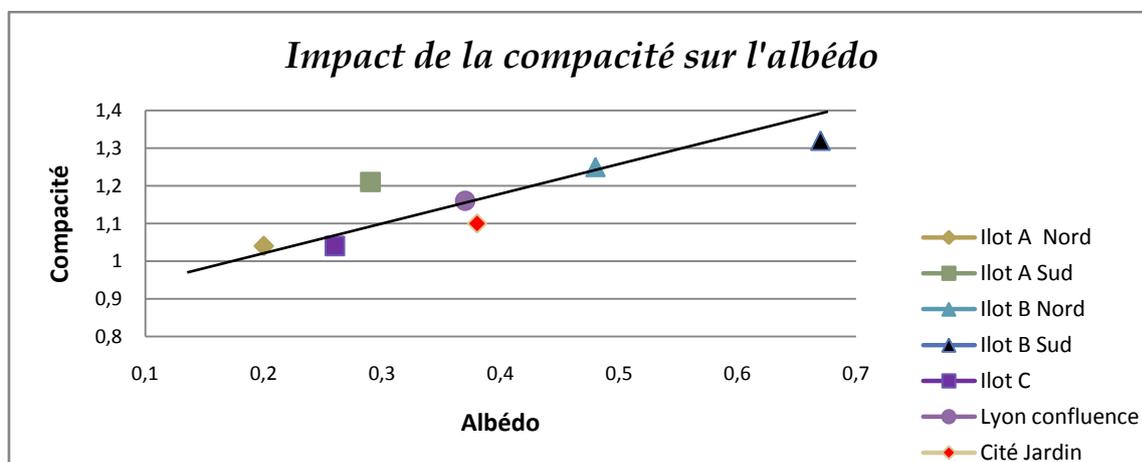
- 1 Sélection d'un indicateurs de référence par exemple l'albédo, résultant de la simulation de l'énergie solaire, et le croiser ensuite avec les indicateurs morphologiques et géométriques rendant compte des phénomènes environnementaux analysés.
- 2 Le deuxième types de corrélation n'élimine aucun descripteur morphologique, il est donc de plusieurs croisements entre les indicateurs de la formes et celles relatifs aux phénomènes environnementaux.

Cette comparaison entre les deux échantillons urbains s'appuie sur les descripteurs morphologiques, géométriques et physiques examinés à savoir : la compacité, la densité volumique, le facteur de vue de ciel, et l'albédo des îlots.

Cette comparaison devra nous permettre de définir les descripteurs qui discriminent de façon significative ces deux tissus urbains a priori différents.

Pour mieux analyser les corrélations et les rapports entre les différents indicateurs étudiés précédemment et déterminez les paramètres les plus influents sur l'albédo des surface afin de proposer notre indicateur, on à choisi la sélection d'un indicateur de référence qui est l'albédo, et de le croiser avec les autres indicateurs. Les résultats de ces croisements ont été caractérisés graphiquement. Cette caractérisation va nous permettre de traduire une information synthétique à la fois sur la forme urbaine et sur le phénomène physique analysée.

1.1. Etude le l'impact de compacité sur l'albédo des surfaces

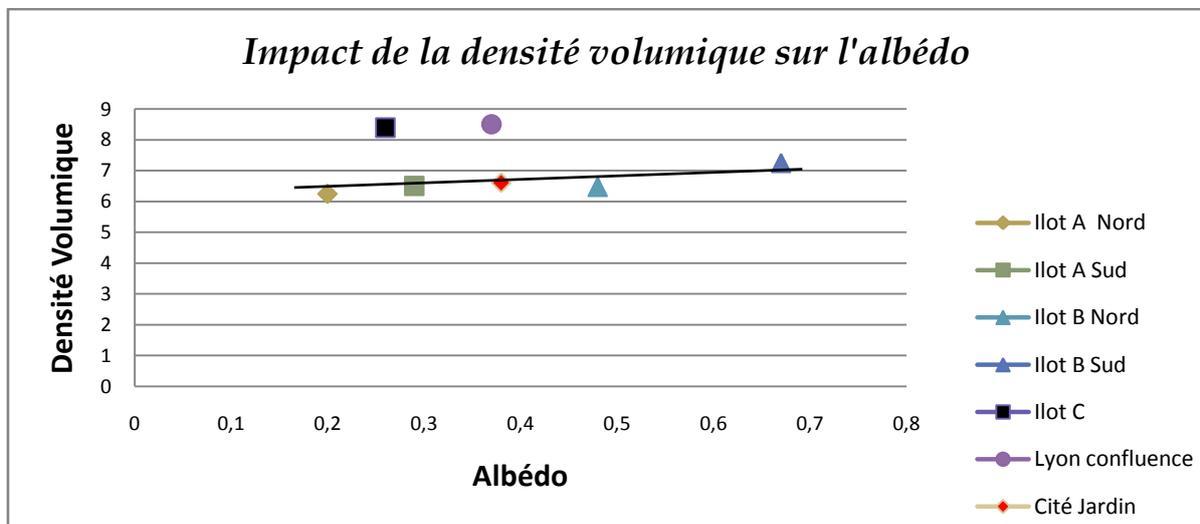
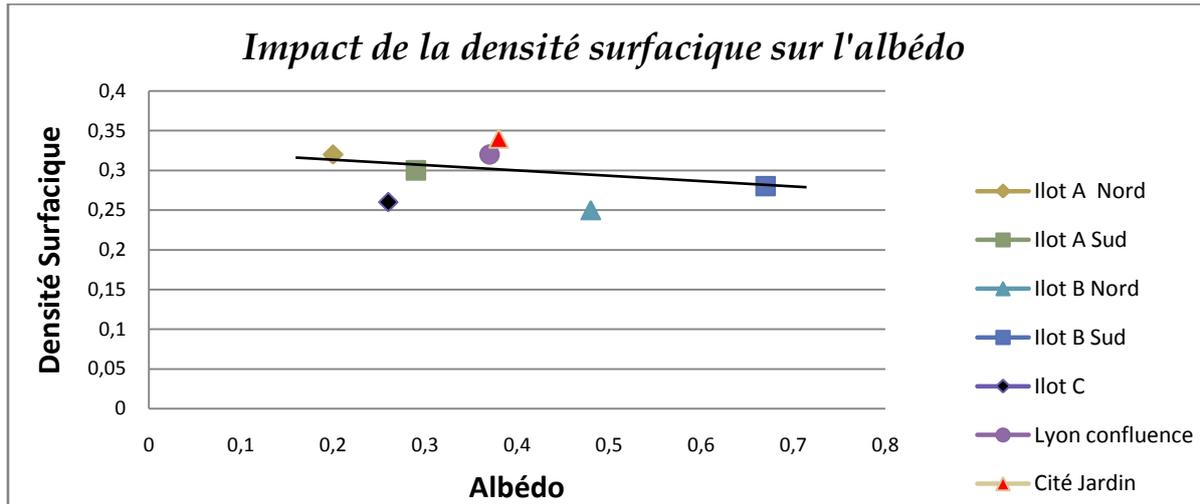




- **Analyse des résultats**

L'analyse des résultats dévoile l'existence d'une bonne relation entre la compacité des tissus et leurs coefficients de réflexion. Plus la compacité d'un tissu augmente et plus sa réflexion ne s'amplifie.

1.2. Etude le l'impact de la densité surfacique et volumique sur l'albédo des surfaces

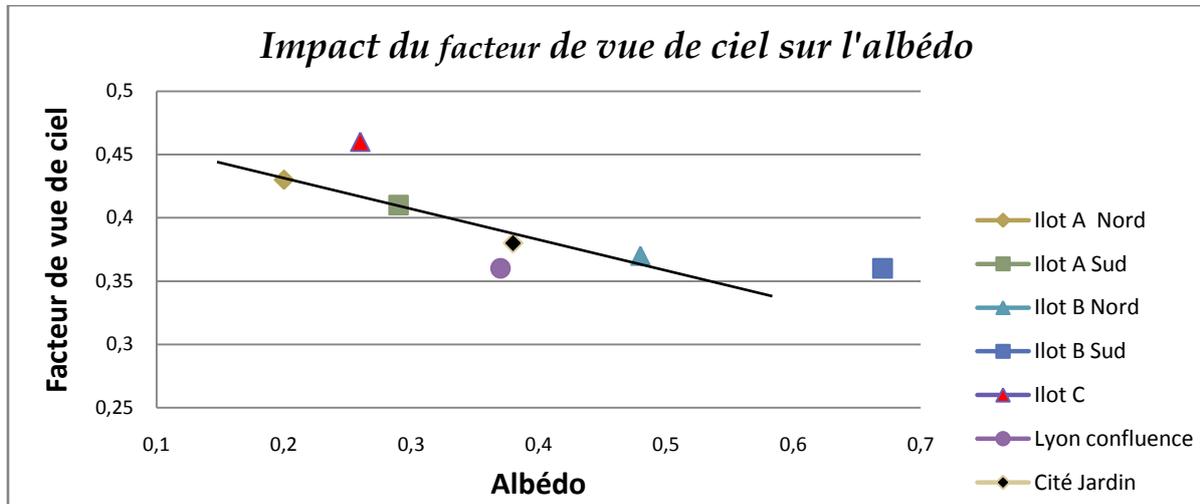


- **Analyse des résultats**

On conclut après examen des deux graphes que les deux indicateurs morphologiques (densité surfacique et volumique) n'ont pas une bonne correspondance avec l'albédo des surfaces. En effet on n'a constaté aucune relation linéaire entre les différents résultats des tissus urbains. Il est donc improbable d'établir une comparaison entre les différents échantillons.



1.3. Etude le l'impact du facteur de vue de ciel sur l'albédo des surfaces



- **Analyse des résultats**

La lecture des résultats nous permet de conclure à la présence d'une relation linéaire entre le facteur de vue de ciel et l'albédo des surfaces. Exceptions faite pour les deux parties de l'îlot B. Cela et dû peut être à l'hétérogénéité des matériaux de construction qui revêtent ces deux îlots. Enfin, on conclut pour ces deux cas d'étude, que le pourcentage de ciel visible des tissus diminue, leurs réflexions solaire augmente.

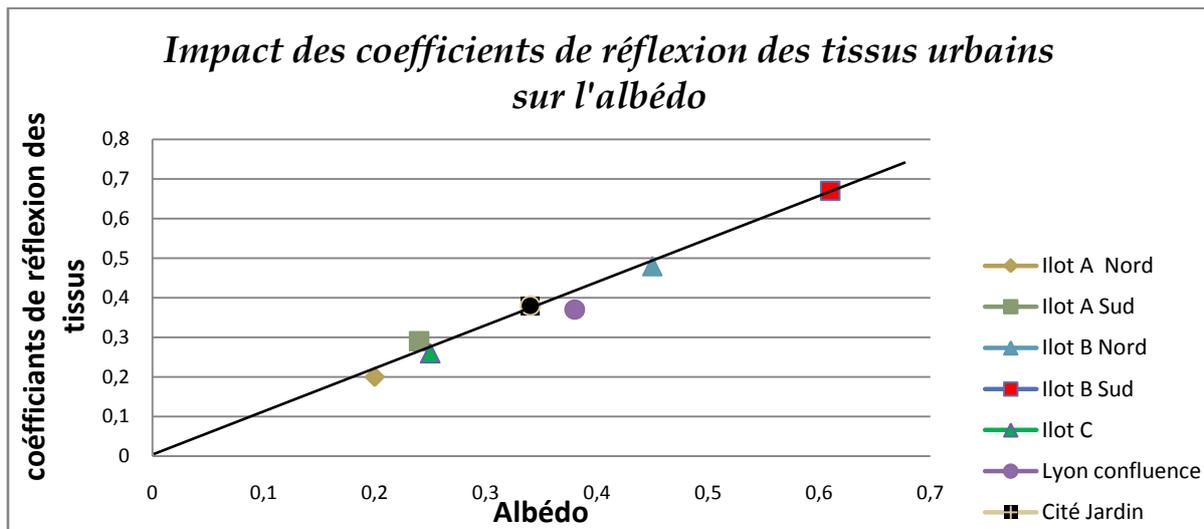
On note que ces résultats sont relatifs aux deux tissus analysée et on peut les généralisées sur toute les ensemble urbain car ces résultats dépendent beaucoup des caractéristique solaire des matériaux de construction

1.4. Etude le l'impact du coefficient de réflexion des tissus sur l'albédo des surfaces

1.4.1. Méthode de calcul

On calcule la moyenne des coefficients de réflexion des tissus est exécutable sur le logiciel Solène. Après la définition des différents albédos spécifiques à chaque géométrie. On crée un descripteur de réflexion des matériaux en sélectionnant l'icône (Valeur caractéristique des matériaux). Par l'intermédiaire de la fonction externe (Analyse_cir_val) (voir guide Solène) on peut déterminer la moyenne pondérée entre les différents coefficients de réflexion.

Ilots	Ilots A Nord	Ilot A Sud	Ilot B Nord	Ilot B Sud	Ilot C	Cité Jardin	Lyon confluence
Albédo moyen	0.2	0.24	0.45	0.61	0.25	0.38	0.34
Albédo simulation	0.2	0.29	0.59	0.67	0.26	0.37	0.38



• Analyse des résultats

Cette étude nous dévoile l'existence d'une relation linéaire entre les coefficients de réflexion des tissus urbains et l'albédo. Ce facteur est considéré comme le plus influant sur les valeurs d'albédo des surfaces. Lorsque ce facteur augmente, les valeurs d'albédo s'accroissent.

Conclusion

1. La compacité des géométries, le facteur de vue de ciel, le coefficient de réflexion moyenne des tissus ainsi que le pourcentage d'orientation des surfaces sont les facteurs les plus influant sur l'albédo des surfaces.

- lorsque la compacité augmente, les valeurs d'albédo s'amplifie ;
- Lorsque le facteur de vue de ciel diminue, l'albédo augmente ;
- Lorsque les coefficients de réflexion des matériaux augmentent, l'albédo s'accroît.



2. Proposition de l'indicateur

« *La joie suprême, la vraie joie est celle de créer.*⁶ » Le Corbusier 1924

Les résultats de l'analyse croisée entre l'albédo des surfaces et les indicateurs morphologique et géométriques, nous a permis de déterminer les facteurs les plus pertinents qui influent sur l'albédo. Ces facteurs sélectionnés vont faire l'objet de notre proposition d'indicateur s'agit en fait de trois facteurs suivants :

- Le coefficient de réflexion moyenne des tissus urbains ;
- Le facteur de vue de ciel et la compacité des géométries.

L'indicateur proposé, noté A , est défini comme suit :

$$A = \frac{\sum (\alpha_i \psi_i S_i)}{\sum (\psi_i S_i)} C$$

Les valeurs associées à l'indicateur sont :

α_i : Coefficient de réflexion moyenne pour chaque contour i de la géométrie ;

ψ_i : Facteur de vue de ciel pour chaque contour i de la géométrie ;

S_i : Surface totale pour chaque contour i de la géométrie ;

C : Compacité de la géométrie.

L'indicateur que nous proposons élargit le rôle que jouent les caractéristiques solaires des matériaux et celui de la forme urbaine dans l'évaluation du phénomène d'îlot de chaleur. Il va donc opérer une sorte de pré-diagnostic de la qualité des éléments de la forme urbaine qui sera complété par les simulations des modèles physiques.

2.1. La portée de l'indicateur

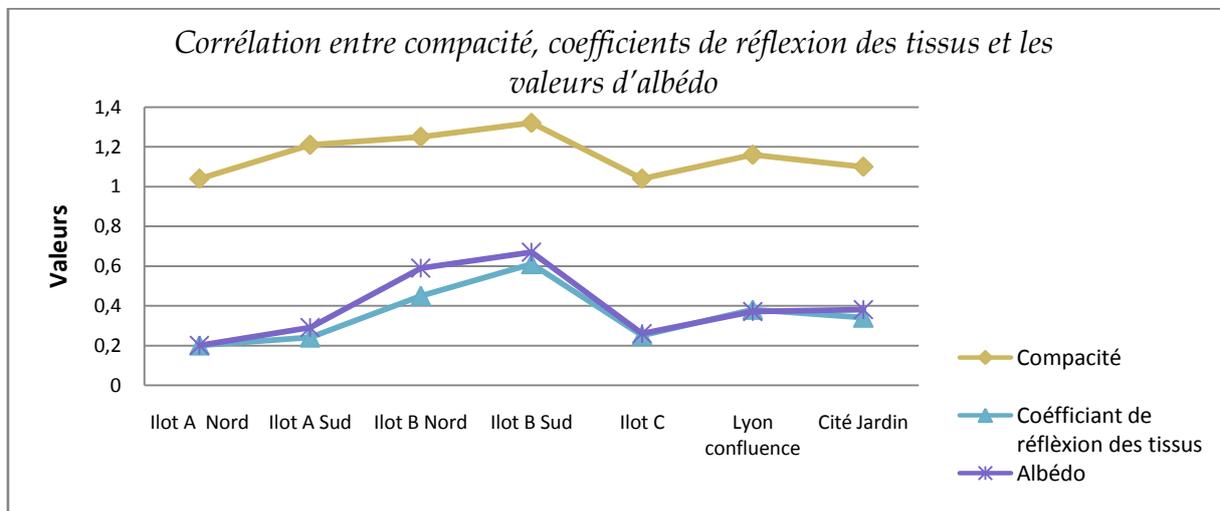
- Par sa simplicité, il est facilement applicable à des ensembles urbains complexes. Il suffit de disposer pour cela d'une base de données solaire des matériaux de construction et de relever les surfaces des enveloppes et des planchers.
- Pour effectuer le calcul numérique de l'indicateur à l'échelle d'un ensemble urbain, il suffit d'utiliser un modèle numérique (comme Solène) permettant d'interpréter la somme des produits (descripteurs x surface) des contours.

Le Corbusier, *Vers une architecture*, Le Corbusier, éd. G. Crès, 1924, p. 16



2.2. Validation de l'indicateur par rapport aux résultats de la simulation

Les différents îlots	Ilot A Nord	Ilot A Sud	Ilot B Nord	Ilot B Sud	Ilot C	Lyon confluence	Cité Jardin
$\alpha_i \Psi_i S_i$	93155	124674	330629	370561	270919	1333715	4303330
$\Psi_i S_i$	471585	490387	815276	681710	1093280	3903350	1296403
Compacité	1.04	1.21	1.25	1.32	1.04	1.16	1.10
Albédo de l'indicateur	0.20	0.29	0.49	0.67	0.25	0.39	0.36
Albédo des simulations 21 - 6	0.20	0.29	0.48	0.67	0.26	0.37	0.38



Analyse des résultats

Les résultats du tableau affiche des bonnes corrélations entre les valeurs d'albédo issus du calcul de l'indicateur et celles enregistrés dans les simulations notamment pour (îlot A Nord et Sud, îlot B Nord et Sud et l'îlot C). Pour les deux tissus Lyon confluence et la cité jardin, on note aussi une faible différence entre les valeurs de l'indicateur et celles des simulations de l'ordre de 0.02. Cela est dû probablement à d'autres paramètres liée peut être au calcul.

2.3. Application et développement de l'indicateur

L'espace élémentaire pour lequel s'applique l'indicateur est une géométrie quelconque appartenant à l'espace urbain « sol, toiture, façades, bâtiment, îlot ou même un quartier ». L'analyse d'un bâtiment ou un ensemble urbain s'appuie sur l'analyse de l'ensemble des contours qui le constituent.

Rappelons d'abord le principal objectif de l'indicateur. Il s'agit d'obtenir une indication rapide et synthétique sans simulations complexes à partir d'une connaissance de la morphologie du bâti. A partir de ces quelques avancées que joue l'indicateur dans la caractérisation morphologique de



l'environnement climatique, nous situons les prochaines phases de la recherche à deux niveaux complémentaires :

- Le premier concerne : les développements possibles de l'indicateur;
- La deuxième plus général, concerne : les développements de la caractérisation morphologique.



3. Limites et critiques de la recherche

Au cours de cette recherche plusieurs approximations étaient nécessaires. Elles sont imposées par les outils informatiques utilisés. Ces approximations portent sur des hypothèses simplificatrices à plusieurs niveaux de l'espace urbain.

La première simplification, concerne la topographie : on a considéré que la pente du terrain était nulle. Pourtant, on ne peut négliger l'effet de cette composante sur les phénomènes considérés.

La deuxième simplification, est relative aux suppositions faites pour les caractéristiques solaires de certains matériaux non identifiées dans les bases de données des matériaux disponibles et dans la littérature bibliographique.

On appréhende qu'un phénomène physique (albédo) puisse être caractérisé par certains indicateurs morphologiques (compacité, facteur de vue de ciel). Il existe plusieurs facteurs physiques : vitesse du vent, rayonnement de grande longueur d'onde et des facteurs d'ambiances : végétation, eau, couleur des matériaux. Ces facteurs jouent un rôle déterminant dans l'estimation des calculs et ont été mis à l'écart et négligés par mesure de simplification.

La simplification des volumes de certains éléments de la forme bâtie et de quelques décrochements dans les façades pourrait cependant modifier considérablement le résultat des calculs.

Les outils adoptés pour exprimer les indicateurs environnementaux (albédo) ne sont pas adaptés à l'analyse de certains éléments tels que la végétation, la couleur et l'eau. Cette réduction de l'espace à des pleins, et des vides à structure indifférentes, ne reflète pas la complexité de la réalité urbaine. Ceci réduit la signification et la solidité de l'indicateur employé.



4. Conclusions et perspectives

4.1. Conclusions

Nous proposons en guise de conclusion, une relecture transversale de notre travail selon ces trois axes, où nous essayons de mettre en évidence les principales perspectives auxquelles s'ouvrirait notre projet s'il était poursuivi.

Dans cette recherche, nous nous intéressons à l'impact de la diminution de l'albédo de surfaces urbaines sur l'accentuation du phénomène d'îlot de chaleur en focalisant sur l'effet des formes urbaines et des matériaux.

Dans la première partie de cette recherche, la synthèse bibliographique nous a permis de répertorier un éventail large de facteurs qui influent sur l'albédo des surfaces et qui rendent compte de plusieurs phénomènes. Suivant leurs degrés d'influence, ces facteurs se présentent comme suit :

- Facteurs liés aux matériaux de construction : réflexion des matériaux;
- Facteurs liés à la forme géométrique urbaine : facteur de vue de ciel, compacité, densité surfacique ;
- Facteurs spatial : l'orientation ;
- Facteurs spatio-temporels : hauteur solaire.

Il ressort de cette recherche bibliographique qu'un phénomène physique peut être appréhendé par plusieurs indicateurs.

Afin d'évaluer la pertinence et la crédibilité des indicateurs recensés, deux tissus urbains distincts ont été choisis. Il s'agit des projets « Lyon confluence » et « la cité jardin », ces deux cas urbains sont localisés dans la même ville (agglomération de Lyon), afin de neutraliser l'influence des données physiques et pour mieux appréhender les particularités urbaines.

Le choix de ces deux modèles représentatifs de la complexité urbaine est important et leur différence est indispensable pour réaliser une analyse pertinente.

Ces indicateurs ont été expérimentés tour à tour sur les deux tissus afin de pouvoir comparer les résultats et faciliter la compréhension. Des analyses et des corrélations avec un langage urbanistique sont ensuite dégagées en proposant des conclusions.

Dans un premier temps, une analyse comparative des indicateurs morphologiques à été opérés afin d'analyser les relations entre eux. Cette analyse à montré que :

- La compacité d'un tissu urbain varie en fonction de l'aménagement et de l'organisation de ces bâtiments. L'indice de compacité d'un tissu qui présente un agencement compact et une organisation en hauteur des locaux, est inférieur à celui d'un tissu fragmenté et étalé avec des bâtiments qui présentent des hauteurs moins élevées.
- Les deux indicateurs « compacité et densité volumique » présentent un bon rapport de corrélation. Plus la densité d'un tissu augmente plus sa compacité diminue.



Deuxièmement, des simulations ont été exécutées à partir du logiciel Solène sur les deux tissus, afin de calculer les facteurs de vue de ciel des îlots. Les résultats des calculs ont prouvé que :

- Le pourcentage des surfaces horizontales dans une géométrie est un facteur influant sur son pourcentage de vue de ciel. Plus la géométrie présente des surfaces horizontales, plus son pourcentage de ciel visible augmente ;
- Les géométries simples et compactes ont des facteurs de vue de ciel supérieures aux géométries fragmentées et complexes (qui affichent des jeux de volume) ;

Une analyse de rapprochement entre les indicateurs morphologiques (compacité, densité surfacique et volumique) et les indicateurs géométriques (facteur de vue de ciel) a été effectuée. Cette analyse a montré que :

- La densité volumique et la densité surfacique sont les facteurs qui influent beaucoup sur le pourcentage de ciel visible d'une géométrie. Les études ont montré que plus la hauteur équivalente répartie des volumes d'un tissu est grande, plus son facteur de vue de ciel diminue, plus la densité surfacique d'un îlot est petite (organisation serrée et compacte) et plus son pourcentage de ciel visible diminue.

Troisièmement, des simulations ont été appliquées sur les différents tissus urbains afin d'évaluer l'albédo de chacun à partir de la quantité d'énergie solaire incidente et réfléchiée mesurée par le logiciel Solène. L'analyse des résultats a montré que :

- Pendant la période estivale, ce sont les surfaces horizontales et notamment les toitures qui participent pleinement à la réflexion des rayons solaires et ce sont eux, en fonction de leur matériaux qui prennent en charge le rôle de diminution du phénomène d'îlot de chaleur ;
- Afin de mieux exploiter les avantages du phénomène d'îlot de chaleur pendant la période hivernale et notamment dans la réduction de la consommation d'énergie. Il est recommandable d'utiliser des revêtements peu réfléchissants pour les façades des bâtiments avec des albédos entre 0.3 et 0.45 ;
- Selon le cas d'étude, la hauteur solaire peut jouer un rôle dans la diminution ou l'augmentation de l'albédo des surfaces. Les résultats ont montré, que lorsque les volumes sont revêtus par différents matériaux qui se caractérisent par des coefficients de réflexion hétérogènes, alors les résultats de l'impact de la hauteur solaire varient en fonction de l'orientation des matériaux des façades par rapport au soleil. Cependant, lorsque les matériaux des façades sont homogènes, alors la hauteur solaire joue un rôle moins important sur les valeurs d'albédo ;
- Le pourcentage du vitrage dans les façades des bâtiments fait diminuer fortement les valeurs d'albédo des surfaces. C'est un paramètre capital, les résultats ont montré que plus ce pourcentage est grand, plus les valeurs d'albédo sont modérées. Afin de limiter l'impact de ce paramètre sur la diminution de l'albédo, des brise-soleils verticaux pour les façades Sud et horizontaux pour les façades Ouest constituent des solutions passives ;
- Le pourcentage de surface de façade par orientation est un facteur assez influant sur la quantité du flux solaire incident et sur les valeurs d'albédo journalières;



- Les surfaces ombrées ont un pouvoir de réflexion moins important que celui des surfaces éclairées.

Ensuite, nous entamons une phase de croisement entre les différents indicateurs d'études, cela peut rendre compte en partie de la complexité et du couplage des phénomènes et par ailleurs de la réalité complexe de la forme urbaine. Cette démarche nous a permis de sélectionner les indicateurs les plus appropriés qui agissent sur l'albédo des tissus urbains. Cette analyse a montré que :

- Les coefficients de réflexion des matériaux et notamment ceux des toitures sont le facteur le plus déterminant sur l'augmentation ou la diminution de l'albédo des surfaces ;
- Le facteur de vue de ciel constitue lui aussi un facteur d'influence. Les résultats ont montré que plus ce facteur est petit plus les valeurs d'albédo augmentent.
- L'analyse a montré aussi que la compacité des tissus agit elle aussi sur les valeurs d'albédo. Plus la compacité d'un tissu augmente et plus sa réflexion s'amplifie.

À partir de ces résultats nous avons pu déterminer les facteurs qui vont faire l'objet de notre proposition pour un indicateur morphologique.

L'indicateur proposé, noté **A**, est défini comme suit :

$$A = \frac{\sum(\alpha_i \psi_i S_i)}{\sum(\psi_i S_i)} C$$

Avec :

α_i : Coefficient de réflexion moyen pour chaque contour *i* de la géométrie ;

ψ_i : Facteur de vue de ciel pour chaque contour *i* de la géométrie ;

S_i : Surface totale pour chaque contour *i* de la géométrie ;

C : Compacité de la géométrie.

L'indicateur est caractérisé par sa simplicité, il est facilement applicable à des ensembles urbains complexes. Il suffit de disposer pour cela d'une base de données solaire des matériaux de construction et de relever les surfaces des enveloppes et des planchers.

Pour effectuer le calcul numérique de l'indicateur à l'échelle d'un ensemble urbain, il suffit d'utiliser un modèle numérique (comme Solène) permettant de simuler et d'interpréter la somme des produits (descripteurs x surface) des contours.

L'indicateur que nous proposons élargit le rôle que jouent les caractéristiques solaires des matériaux et celui de la forme urbaine dans l'évaluation du phénomène d'îlot de chaleur.



L'intérêt de cette démarche en terme d'ambiance architecturale et urbaine est qu'elle renvoie à une nouvelle approche de maîtrise des phénomènes physiques dans l'espace urbain. Elle est basée plutôt sur des indicateurs objectifs et mesurables.

L'application de ces indicateurs va permettre enfin de prendre en compte les ambiances urbaines physiques comme outil d'assistance lors de la conception et le contrôle dans des situations existantes. De telles approches méritent d'être approfondies.

4.2. Perspectives

Cette approche est encore à l'état embryonnaire et ne peut prétendre être un bilan définitif. Néanmoins, elle esquisse des possibilités de croisement d'agrégats différents et complexes. Cette tâche n'est sans doute pas facile. Mais c'est cette difficulté qui la rend intéressante.

Nous sommes conscients que notre choix en ce qui concerne l'indicateur proposé, n'est sans doute pas sans conséquence. Plusieurs questions nous attendent. Ce genre de recherche se fait à long terme et ne peut aboutir en seulement six mois de travail et de recherche.

Il s'agirait maintenant de poursuivre ces développements. Ainsi, plusieurs perspectives sont envisagées :

1. Validation de l'indicateur proposé : l'indicateur doit être testé sur plusieurs échantillons urbains significatifs, dans des pays aux climats différents.
2. Le système mis en place peut également être enrichi par d'autres indicateurs, par exemple les indicateurs liés à la végétation, aux bassins d'eau et à couleur des matériaux. L'intégration de ces indicateurs dans le système proposé va certainement apporter des modifications et plus de précision dans les résultats obtenus.
3. Valider le système proposé sur plusieurs échelles différentes de l'espace urbain, car son application n'est actuellement validée qu'à l'échelle d'un îlot.
4. Valider l'indicateur et ses résultats par d'autres logiciels de simulation. La comparaison des résultats peut être importante pour le développement de l'indicateur.



Bibliographies

- [1] **Aida, M.** 'Urban albedo as a function of the urban structure: a model experiment (part I) ', *Boundary-Layer Meteorology* (23), 405-413, 1982.
- [2] **Aida, M. & Gotoh, K.** 'Urban albedo as a function of the urban structure: a two dimensional numerical simulation (part II)', *Boundary-Layer Meteorology* (23), 415-424, 1982.`
- [3] **Ait Ameer Karima**, Vers une méthode multicritère de caractérisation du microclimat dans les espaces publics urbains : validation d'un système d'indicateurs « morpho-climatiques » et d'un indicateur de confort', PhD thesis, Université de Nantes Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, 2002.
- [4] **Akbari, H.;** Dickerhoff, D. & Pollak, J. 'The effect of a cool-coating on the thermal effectiveness of exposed exterior ducts', *Energy and Buildings* 39(6), 681-692, 2007.
- [5] **Akbari, H. & Konopacki, S.** 'Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies', *Energy Policy* 33(6), 721-756, 2005.
- [6] **Akbari, H.;** Pomerantz, M. & Taha, H. 'Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas', *Solar Energy* 70(3), 295-310, 2001.
- [7] **Akbari, H.;** Shea Rose, L. & Taha, H. 'Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos', *Landscape and Urban Planning* 63(1), 1-14, 2003.
- [8] **Assimakopoulos, V.;** Georgakis, C. & Santamouris, M. 'Experimental validation of a computational fluid dynamics code to predict the wind speed in street canyons for passive cooling purposes', *Solar Energy* 80(4), 423-434, 2006.
- [9] **Bansal, N.K.;** Garg, S.N. & Kothari, S. 'effect of exterior surface colour on the thermal performance of buildings', *Building and Environment* Vol. 27(n°1), 31-37, 1992.
- [10] **Berdahl, R.L.W.A.M.** 'Weathering of roofing materials – An overview', *Construction and Building Materials* 22, 423-433, 2008a.
- [11] **Berdahl, P.;** Akbari, H.; Jacobs, J. & Klink, F. 'Surface roughness effects on the solar reflectance of cool asphalt shingles', *Solar Energy Materials and Solar Cells* 92(4), 482-489, 2008.
- [12] **Berdahl, P. & Bretz, S.E.** 'Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials, *Energy and Buildings* 25(2), 149-158, 1997.



- [13] **Benzarzour Mohamed**, Transformations urbaines et variations du microclimat : application au centre ancien de Nantes et proposition d'un indicateur « morpho-climatique » ', PhD thesis, Université de Nantes Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, 2004.
- [14] **Boukhezer hadja** 'Caractérisation envirenomentale des tissus urbains en vue de leur classification', Masters thesis, Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'université de Nantes, 2002, 153p.
- [15] **Bougiatioti** 'Effect of urban geometry on surface temperatures of "skin" materials in Greek cities" PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8, September 2006.
- [16] **Bouguerra, A.; Ait-Mokhtar, A.; Amiri, O. & Diop, M.B.** 'Measurement of thermal Conductivity, thermal diffusivity and heat capacity of highly porous building materials using transient plane source technique', International Communications in Heat and Mass Transfer 28(8), 1065-1078, 2001.
- [17] **Bretz, S.E. & Akbari, H.** 'Long-term performance of high-albedo roof coatings, Energy and Buildings 25(2), 159—167, 1997.
- [18] **Chimklai, P.; Hagishima, A. & Tanimoto, J.** 'A computer system to support Albedo calculation in urban areas', Building and Environment 39(10), 1213-1221, 2004.
- [19] **Doulos, L.; Santamouris, M. & Livada, I.** 'Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials, Solar Energy, 77 (2), 231-249, 2004.
- [20] **Donkyou, Y, hoyano, A, Akinari Iino.** Évaluation des formes urbaines à partir des aspects thermiques de l'environnement, PLEA. 1997 KHUSHIRO. Vol02. January 9. P 223-228
- [21] **Edward Mazria.** Le guide de l'énergie solaire passive, Parenthèses1979. P 272-277.
- [22] **Fazia Ali-Toudert, Helmut Mayer.** Erratum to "Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate" Building and Environment 41 (2006) pages94–108
- [23] **Iino, A.; Hoyano, A.** Development of a method to predict the heat island potential using remote sensing and GIS data, Energy and Building 23, 199-205, 1996.
- [24] **Levinson, R.; Berdahl, P.; Asefaw Berhe, A. & Akbari, H.** 'Effects of soiling and cleaning on the reflectance and solar heat gain of a light-colored roofing membrane', Atmospheric Environment 39(40), 7807-7824, 2005.



- [25] **Musy et al.** 'ADEQUA : élaboration d'une méthodologie d'aide a la décision lors de la réalisation ou de la réhabilitation d'un quartier résidentiel', Technical report, CERMA-UMR CNRS 1563, Décembre 2006.
- [26] **Musy et al.** 'URBAT: Approche méthodologique de la construction durable en milieu urbain : le microclimat urbain et son impact environnemental sur les constructions, Technical report, CERMA, LEPTAB, ENTPE, 2006.
- [27] **Oke, T.** Boundary layer climates, University press, Cambridge, 1987.
- [28] **Oke, T.R.** 'Street design and urban canopy layer climate', Energy and Buildings 11(1-3), 103-113, 1988.
- [30] **Oke, T.R.** 'canyon geometry and the nocturnal urban heat island, comparison of scale model and field observations', Energy and Buildings 11(1), 237-254, 1981.
- [31] **Oke, T.R.; Zeuner, G. & Jauregui, E.** "The surface energy balance in Mexico City", Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere 26(4), 433-444, 1992.
- [32] **Okeil, A.,** In search for energy efficient urban forms: the residential solar block, in 'CIB World building Congress, Building for the future : the 5th international conference on indoor air quality, ventilation and energy conservation in buildings proceedings, Toronto Canada, 1-7, may 2004.
- [33] **Pawlak, W. & Fortuniak, K.** Application of physical model to study effective albedo of the urban canyon, in 'Fifth international conference on urban climate, Lodz Pl 1-5 septembre 2003', pp. 233-236, 2003.
- [34] **Prado, R.T.A. & Ferreira, F.L.** 'Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials', Energy and Buildings 37(Issue 4), 295-300, 2005.
- [35] **Pierre lavigne et coll.** Architecture Climatique, une contribution au développement durable (Tome 1 : bases physiques), EDISUD, 1994, p 183-188.
- [36] **Ratti, C.; Raydan, D. & Steemers, K.** 'Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate', Energy and Buildings 35(1), 49—59, 2003.
- [37] **Runsheng, T.; Meir, I.A. & Etzion, Y.** 'An analysis of absorbed radiation by domed and vaulted roofs as compared with flat roofs', Energy and Buildings 35(6), 539—548, 2003.
- [38] **Sailor, D.; Hutchinson, D. & Bokovoy, L.** 'Thermal property measurements for ecoroof soils common in the western U.S.', Energy and Buildings In Press, Corrected Proof, 2005.



- [39] **Santamouris, M.; Papanikolaou, N.; Livada, I.; Koronakis, I.; Georgakis, C.; Argiriou, A. & Assimakopoulos, D.N.** 'On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings', *Solar Energy* 70(3), 201-216, 2001.
- [40] **Santamouris et al.** *Cooling the cities*, Les presses, Ecole des mines de Paris, ed. 2004.
- [41] **Simpson, J.R. & McPherson, E.G.** 'The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona', *Energy and Buildings* 25(2), 127-137, 1997.
- [42] **Swaid, H. & Hoffman, M.E.** 'Thermal effects of artificial heat sources and shaded ground areas in the urban canopy layer', *Energy and Buildings* 15, 253-261, 1990.
- [43] **Synnefa, A.; Santamouris, M. & Apostolakis, K.** 'On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment', *Solar Energy* 81(4), 488-497, 2007.
- [44] **Synnefa, A.; Santamouris, M. & Livada, I.** 'A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment', *Solar Energy in Press, Corrected Proof*, 2007.
- [45] **Synnefa, A.; Santamouris, M. & Livada, I.** 'A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment', *Solar Energy* 80(8), 968-981, 2006.
- [46] **Taha, H.** 'Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin', *Atmospheric Environment* 31(11), 1667-1676, 1997.
- [47] **Taha, H.; Akbari, H.; Rosenfeld, A. & Huang, J.** 'Residential cooling loads and the urban heat island--the effects of albedo', *Building and Environment* 23(4), 271-283, 1988.
- [48] **Tang, R.; Meir, I.A. & Wu, T.** 'Thermal performance of non air-conditioned buildings with vaulted roofs in comparison with flat roofs', *Building and Environment* 41(3), 268-276, 2006.
- [49] **Tsangrassoulis, A. & Santamouris, M.** 'Numerical estimation of street canyon albedo consisting of vertical coated glazed facades', *Energy and Buildings* 35(5), 527—531, 2003.
- [50] **Vinet, J.** 'Contribution a la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs', PhD thesis, Université de Nantes Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, 2000.
- [51] **Wanphen, S. & Nagano, K.** 'Experimental study of the performance of porous materials to moderate the roof surface temperature by its evaporative cooling effect', *Building and Environment in Press, Accepted Manuscript*, 2008.



• **Annexes : Récapitulatif des propriétés physiques et solaires de certains matériaux**

Matériaux de construction	Masse volumique sèche (kg/m³)	Conductivité thermique (W/m C°)	Chaleur massique (kJ/kg C°)	Albédo	Emissivité	Référence
Pierre				0.2-0.35	0.85-0.9	Oke 1987
Pierre ferme demi-ferme	1895	1.4	1.0			Th-U RT2005, Compilation GRECAU
Pierre ferme demi-ferme	1840<p<2340	1.4	0.72			PL
Pierre tendre	1480<p<1830	1.0	0.72			PL
Pierre très tendre	1590	0.85	1.0			Th-U RT2005, Compilation GRECAU
Pierre très tendre	p<1470	0.85	0.72			PL
Meulières	2200	1.8	1.0			Th-U RT2005, Compilation GRECAU
Pierre de carrière	1520		0.2			MZ
Pierre - Granit, Gneiss - Basaltes	2700<p<3000 2700<p<3000	3.0 2.2	0.9	0.44		PL+MZ PL
Basalte	2850	1.6	0.88			e
Granite	2600	3.0	0.88			www.thermique55.com
Granite	2600	2.8	1.0			Th-U RT2005, Compilation GRECAU
Schiste, ardoise	2400	2.2	1.0			Th-U RT2005, Izuba Equer
Schiste, Ardoise	2400	2.2	0.87			www.thermique55.com
Schiste, Ardoise	2000<p<2700	2.2				PL
Gravier (vrac)	1800	0.7	0.88	0.08 -0.18	0.92	www.thermique55.com
Bloc Pierre ponce type Cogetherm	700	0.13	1.0			cd2e.com cogestone.fr
Calcaire claire Sombre	1650	0.93	0.90	0.75 0.50	0.36-0.9	MZ
Calcaire						www.thermique55.com
• Dur	2460	2.4	0.88			
• Tendre	1650	1	0.87			
Grés beige (quartzeux) 	2200<p<2800	2.6		0.44		PL+MZ
• Gris clair 	2000<p<2800	1.9 à 2.6	0.71	0.38		
• Rouge 				0.27		
Grés	2500	2.6	0.88			www.thermique55.com
Grés calcaire	2000<p<2700	1.9	0.71			PL
Carrelage	2400	2.4	0.87			www.thermique55.com
Bitume cartonné	1050	0.23	1.3			www.thermique55.com
Asphalte claire foncé	2110 2110	0.74 0.74	0.91 0.91	0.07	0.90	MZ PL+MZ
Asphalte	2115	0.062	0.92			www.thermique55.com
Béton neuf	1400 à 1600	0.52	1.0	0.45	0.90	PL
Béton vieilli	1400 à 1600	0.52	1.0	0.20	0.90	PL
Béton cellulaire	375 à 825	0.16 à 0.3	1.0			PL



Matériaux de construction et de revêtements	Masse volumique sèche (kg/m ³)	Conductivité thermique (W/m C°)	Chaleur massique (kJ/kg C°)	Albédo	Emissivité	Référence
Béton				0.1-0.35	0.71-0.9	Oke 1987
Béton plein	2310	0.93	0.65	0.3	0.9	MZ
Béton plein	2200 à 2400	1.75	1.0			
Béton plein	2150	1.65	1.0			Th-U RT2005, écobilan www.kbob.ch
Béton plein	2300	1.75	0.87			www.thermique55.com
Béton caverneux	1700 à 2100	1.40	1.0			PL
Bloc de béton (parpaing de ciment)	1100	0.952	1.0			Avis technique [FDES ISBN 2-85755-193-2]
Béton courant	1400 à 1600	0.52	1.0			PL+MZ
Plaque de béton de vermiculite préfabriquée	400 à 450	0.19	1.0			
Béton de chaux-chanvre (270kg/m ³) pour toiture	270	0.13	0.68			
Béton de chaux-chanvre (450kg/m ³) pour toiture	450	0.18	0.68			
Tuiles d'argile rouge	1700<p<2100	1 à 1.35	0.8 à 1.0	0.33	0.9	PL+MZ
Tuile en terre cuite				0.1-0.35	0.90	Oke 1987
• Rouge				0.36		MZ
• Pourpre foncé				0.19		MZ
Tuiles de béton :						
• Rouge 				0.18	0.91	FSEC1, LBNL4, LBNL5,
• Blanc 				0.73	0.9	
• Beige claire 				0.63	0.9	
• Marron claire 				0.42	0.9	
• Mauve 				0.41	0.9	
• Gris rose 				0.53	0.9	
Fibre de ciment :				0.26	0.9	FSEC1, LBNL4,
• Marron 				0.25	0.9	LBNL5
• Gris étain 						
Tuile de ciment sans peinture				0.25	0.9	FSEC1, LBNL4, LBNL5
Tuile en ciment sans colorant						
• Brun 				0.15		MZ
• Noir 				0.09		
Bardeau d'asphalte						
• Blanc 				0.21	0.91	Berdhal, Bretz, et al 1997
• Argent 				0.20	0.91	
• Marron foncé 				0.08	0.91	
• Gris 				0.08	0.91	
• Vert 				0.19	0.91	
• Marron claire 				0.19	0.91	
• Noir 				0.05	0.91	



Matériaux de construction et de revêtements	Masse volumique sèche (kg/m ³)	Conductivité thermique (W/m C°)	Chaleur massique (kJ/kg C°)	Albédo	Emissivité	Référence
Verre <ul style="list-style-type: none"> • Flint (au plomb) • Pyrex 	4280 2230	0.48 0.4	1.36 1.02			MZ
Verre : crown	2180	0.75	1.02		0.94	MZ
Verre transparent : <ul style="list-style-type: none"> • angle zénithal <40° • angle zénithal 40°<α<80° 				0.08 0.09 à 0.52	0.87 à 0.94 0.87 à 0.92	Oke 1987
Verre	2700	0.78	0.84			www.thermique55.com
Verre	2700	1.1	1.8			PL
Plexiglas	1190	0.19	1.46			
Herbe haute et sèche				0.31 à 0.33		MZ
Sol nu sans végétation ●	1520	0.64		0.25		MZ
Terre mouillée	1900	2.0	2.0			www.thermique55.com
Terre sèche	1500	1.0	1.9			www.thermique55.com
Enduit de terre (adobe crue)	1450	0.635	0.85			CRA terre traité de construction en terre
Adobe	1400 à 1600	0.59 à 0.73	1.0			PL
Terre-paille	300 à 1200	0.1 à 0.47	1.0 à 1.3			PL
Mur pisé (2000kg/m ³)	2000	1.2	0.8			
Sable ●	1515	0.2-0.1	0.8			www.thermique55.com
Sable	1520	0.33	0.79			MZ
Sable humide				0.09		PL
Sable sec				0.18		PL
Sable pulvérulent blanc				0.55		PL
Marbre - blanc	p<2590	2.9	0.87	0.66	0.931	MZ+PL
-Marbre sombre	p<2590	2.9	0.87	0.44	0.931	MZ+PL
Marbre	2590	2.6	0.87			MZ
Marbre	2700	2.9	0.88			www.thermique55.com
Gypse	1250	0.43	1.08		0.93	MZ
Plâtre blanc	1100 à 1300	0.50	1.0	0.93	0.91	PL+MZ
Plâtre			0.48			www.thermique55.com
Plâtre de très haute dureté	1100 à 1300	0.50	1.0			PL
Plâtre courant d'enduit intérieur	750 à 1000	0.35	0.82			PL
Plâtre courant pour enduit intérieur	1150	0.57	1.0			RT2005 - Règles ThU Valeurs tabulées, écobilan www.kbob.ch ,



Matériaux de construction et Bois	Masse volumique sèche (kg/m³)	Conductivité thermique (W/m C°)	Chaleur massique (kJ/kg C°)	Albédo	Emissivité	Référence
Fermacell	1125	0.36	1.26			Avis Technique + écobilan www.kbob.ch
Carreau de plâtre	957	0.32	1.0			Inies / FDES
Mortiers d'enduit	1800 à 2100	1.15	0.88			PL
Enduit de chaud	1600	0.7	0.85			Wufi Compilation GRECAU Th-U RT2005 Izuba Equer
Enduit de ciment	1900	0.8	0.85			"
Bois					0.90	Oke 1987
Bois				0.40	0.95	PL
Bois de chêne					0.90	MZ
Bois feuillus légers	525	0.15	3.14			www.thermique55.com
Bois feuillus mi-lourds	675	0.23	3.15			www.thermique55.com
Bois feuillus très légers	375	0.12	3.14			www.thermique55.com
Bois résineux légers	375	0.12	3.14			www.thermique55.com
Bois résineux mi-lourd	500	0.15	3.16			www.thermique55.com
Bois résineux très légers	375	0.12	3.14			www.thermique55.com
Bois naturel (sec)						
• Feuillus mi- lourd, résineux très lourd	600 à 700	0.23	1.25			PL
• Feuillus légers	450 à 600	0.15	1.36			PL
• Résineux mi-lourd	450 à 550	0.15	1.36			PL
• Résineux légers, feuillus très légers	300 à 450	0.12	1.40			PL
• Bois lourd	800 à 1000	0.29	2.3			PL
• Bois de pin	430	0.11			0.40	MZ
• Bois du sapin	430	0.12				MZ
• Bois acajou	540	0.13				MZ
• Bois chêne blanc	750	0.17	2.38			MZ
• Bois léger brut, séché à l'air (sapin, épicéa)	500	0.14	2.4			Jean-Pierre Oliva, écobilan www.kbob.ch
• Bois lourd (hêtre, chêne)	800	0.2	2.7			Jean-Pierre Oliva, écobilan www.kbob.ch
• Panneau de bois massif 3 couches	540	0.14	2.4			Jean-Pierre Oliva, écobilan www.kbob.ch
• Panneaux contreplaqué	500	0.1	1.5			Wufi, voizo.fr
• Contre plaqué okoumé	400	3.0	0.12			www.thermique55.com
• Contre plaqué pin	500	3.0	0.15			www.thermique55.com
Gazon vert				0.33	0.49	PL +MZ
Sol nu				0.25		MZ + PL
Terre mouillée	1900	2.0	2.0			www.thermique55.com
Terre sèche	1500	1.0	1.9			www.thermique55.com
Terre cuite	1700<p<2100	1 à 1.35	0.8 à 1.0	0.33	0.94	PL
Adobe	1400 à 1600	0.59 à 0.73	1.0			PL
Terre paille	300 à 1200	0.1 à 0.47	1.0 à 1.3			PL



Matériaux	Masse volumique sèche (kg/m³)	Conductivité thermique (W/m C°)	Chaleur massique (kJ/kg C°)	Albédo	Emissivité	Référence
Brique • Terre cuite rouge ●	1800	878	1.15			www.thermique55.com
• Terre cuite rouge claire ●				0.45		MZ
• Vernissée, blanche ○				0.74		MZ
• Vernissée, ivoire à crème				0.65		MZ
• Bleu ●				0,89		MZ
Brique réfractaire [100°]	1790	1.0	0.82		0.75 à [1000°]	MZ
Brique de construction	1970	0.7	0.83		0.93	MZ
Brique plane (cuite)	1850	1.0	1443			Th-U 4/5 RT2005, Memento Yves Couasnet, écobilan www.kbob.ch
Brique				0.05-0.2	0.9-0.92	Oke 1987
Brique de terre comprimée à 20-40 bars-stabilisée (8% de ciment)	1950	0.87	0.85			CRAtterre traité de construction en terre, Memento Yves Couasnet, énergie grise supposée
Brique standard 20 cm	650	0.39	1.0			TH-U 4/5 RT2005, ARENE
Brique joint mince, tpe ECO bric, OptiBric, R20, CaliBric	650	0.27	1.0			afocert
Ciment (clinker Portland)	1920	0.029	0.66			ZM
Caoutchouc (naturel)	1150		0.28			www.thermique55.com
Caoutchouc (vulcanisé)	1100	2010	0.13			www.thermique55.com
PVC (mousse rigide)	30	0.041	1.3			www.thermique55.com
Papier imprégné asphalte (10min)	850	10.000	1.5			www.thermique55.com
Papier imprégné asphalte (10min)	909	10.000	1.5			www.thermique55.com
Papier imprégné asphalte (10min)	824	10.000	1.5			www.thermique55.com
Papier bitume (feutre N:15)	715	4.000	1.5			www.thermique55.com
Feutre bitumé				0.12		MZ
Feutre bitumen avec surface aluminisée				0.60		MZ
Étanchéité en feuilles bitumées, • Brun • vert				0.13 0.14		MZ
Couverture d'asphalte • Neuve • Vieillie				0.09 0.18		MZ
Papiers goudronnée, noir				0.07		MZ



Matériaux métaux et alliages	Masse volumique (kg/m³)	Conductivité thermique (W/m C°)	Chaleur massique (kJ/kg C°)	Albédo	Emissivité	Référence
Aluminium				0.61	0.25	FSEC 1
Aluminium	2740	221	0.89	0.85	0.12	MZ
Aluminium	2700	230	0.50			PL
Aluminium	2707	204	0.89			www.thermique55.com
Fer				0.10-0.12	0.13-0.28	Oke 1987
Fer	7870	73	0.45			www.thermique55.com
Fer forgée	7770	60.4			0.94	MZ
Acier galvanisé oxydé	7780	52	0.50	0.38	0.28	PL + MZ
Acier doux	7830	45.3	0.50			
Acier au carbone	7833	54	0.46			www.thermique55.com
Acier inox 15%Cr, 10%Ni	7864	20	0.46			www.thermique55.com
18%Cr, 20%Ni	7816	16.3	0.46			
25%Cr, 20%Ni	7864	13	0.46			
Tungstène	19380	200.7	0.13		0.032	MZ
Tungstène	19350	163	0.13			www.thermique55.com
Argent	10480	424	0.23	0.93	0.02	MZ
Argent	10525	407	0.23			www.thermique55.com
Chrome	2118	449	0.71			www.thermique55.com
Cuivre	8910	393	0.38	0.82	0.072	MZ
Cuivre poli	8930	380	0.39			PL
Cuivre	8954	386	0.38			www.thermique55.com
Plomb	11320	35	0.12	0.21	0.28	MZ
Plomb	11340	35	0.12			PL
Plomb	11373	35	0.13			www.thermique55.com
Zinc						MZ
• Coulé	7130	112.7	0.38		0.05	
• Laminé à chaud	7130	107.3	0.39		0.23	
Zinc	7130	112	0.38			PL
Zinc	7144	112	0.38			www.thermique55.com
Laiton						MZ
• Rouge (85%Cu, 15%Zn)	8780	150	0.37		0.05	
• Jaune (65%Cu, 35%Zn)	8310	119	0.37			
Laiton	8400	110	0.37			PL
Laiton (70%Cu, 30%Zn)	8522	111	0.38			www.thermique55.com
Fonte [100°]	7210	48	0.50		0.435	MZ
Fonte	7849	59	0.46			www.thermique55.com
Titane		16				Yves jannot
Chrome	2118	449	0.71			



Peinture	Masse volumique	Conductivité thermique	Chaleur massique	Albédo	émissivité	Référence
Peintures cellulosique <ul style="list-style-type: none"> • blanc • jeunes • Orange • Rouge vif • Rouge sombre • Gris • Vert brillant • Vert claire • Vert sombre • Bleu • Bleu foncé • Marron • Marron claire • Noir 		0.59		0.82 0.77 0.63 0.66 0.47 0.25 0.21 0.50 0.12 0.18 0.09 0.23 0.22 0.05	0.91 0.91 0.91 0.91 0.91 0.91 0.91 0.91 0.91 0.91 0.91 0.91 0.91 0.91	LBNL2 MZ + synnefa et al 2007

MZ : Edward Mazria. *Le guide de l'énergie solaire passive*, Parenthèses 1979. P 272-277

PL : Pierre Lavigne et coll. *Architecture Climatique, une contribution au développement durable (Tome 1 : bases physiques)*, Edisud, 1994, p 183-188.

WAs (%)	Conductivité thermique (W/mK)		Diffusivité thermique 10 ⁻⁷ (m ² /s)		Capacité thermique (J /kg K)	
	Valeurs expérimentales	Valeurs théoriques	Valeurs expérimentales	Valeurs théoriques	Valeurs expérimentales	Valeurs théoriques
0	0.493	0.431	3.13	3.066	1095.20	1095.20
10	0.375	0.363	2.92	2.828	1205.25	1209.38
20	0.255	0.252	2.25	2.218	1249.38	1287.95
30	0.208	0.211	2.27	2.082	1265.45	1347.90
40	0.184	0.183	1.92	1.916	1402.80	1393.17
50	0.132	0.137	1.75	1.531	1445.40	1428.39

Valeurs théorique et les valeurs expérimentales de la conductivité thermique, la diffusivité thermique et la capacité thermique pour la production de bois composites. Les valeurs expérimentales sont mesurées à la température ambiante normale. **(Golden2007)**



Toitures vertes	Humidité (% sat)	Densités (g/ml)	Conductivité (W/mK)	Chaleur massique (J/kgK)	Albédo
DH01 (50% pierre ponce+0% schiste+10% compost+40% sable)	0 13 26 62	1.02 1.02 1.02 1.14	0.17 0.25 0.28 0.45	1093 1090 1181 1356	0.28 0.17 0.11 0.06
DH02 (50% pierre ponce+0% schiste+0% compost+50% sable)	0 13 26 64	1.13 1.08 1.07 1.17	0.18 0.30 0.31 0.48	1032 1084 1149 1375	0.41 0.23 0.15 0.16
DH03 (75% pierre ponce+0% schiste+0% compost+25% sable)	0 11 22 55	0.88 0.87 0.87 0.94	0.17 0.20 0.24 0.34	1227 999 1217 1388	0.38 0.26 0.21 0.09
DH04 (75% pierre ponce+0% schiste+10% compost+15% sable)	0 13 25 59	0.76 0.76 0.77 0.87	0.14 0.20 0.21 0.31	1251 1123 1284 1602	0.39 0.29 0.22 0.21
DH05 (0% pierre ponce+50% schiste+10% compost+40% sable)	0 14 27 69	1.36 1.35 1.35 1.42	0.20 0.34 0.38 0.57	887 952 884 1259	0.17 0.12 0.06 0.04
DH06 (0% pierre ponce+50% schiste+0% compost+50% sable)	0 13 26 67	1.40 1.37 1.39 1.47	0.21 0.33 0.46 0.62	890 830 1005 1125	0.19 0.10 0.06 0.05
DH07 (0% pierre ponce+75% schiste+0% compost+25% sable)	0 18 35 87	1.17 1.20 1.20 1.29	0.20 0.31 0.34 0.46	966 961 978 1085	0.18 0.13 0.09 0.07
DH08 (0% pierre ponce+75% schiste+10% compost+15% sable)	0 17 33 82	1.06 1.06 1.06 1.15	0.18 0.26 0.30 0.41	1093 1035 1144 1151	0.18 0.13 0.08 0.06

Les propriétés thermiques est solaires des différents échantillonne de toitures vertes avec un niveau d'humidité multiples. (Sailor, 2008)



Permis de Construire

Lyon Confluence, îlots A, B et C

Tableaux des surfaces (SHON) Surface Hors Œuvre Nette

Annexes du formulaire PC158

tania concko
architectes
urbanistes

LOGEMENTS LYON CONFLUENCE LOT A – ILOT PS1 – PC – MARS 2006

29. TABLEAUX SHOB-SHON

R-2	SHOB	surfaces hors shon	SHON	
	2816,00 m2	-2816,00 m2	0,00 m2	0,00

R-1	SHOB	surfaces hors shon	SHON	
	2677,73 m2	-2677,73 m2	0,00 m2	0,00

RdC -non logement-	SHOB	surfaces hors shon	SHON	
	1013,00 m2	-997,38 m2	15,62 m2	15,62

R+1 -non logement-	SHOB	surfaces hors shon	SHON	
	257,79 m2	-257,79 m2	0,00 m2	0,00

Bâtiment A

	SHOB	surfaces hors shon	SHON
RdC	401,19 m2	-84,74 m2	316,45 m2
R+1	334,61 m2	-62,16 m2	272,45 m2
R+2	312,07 m2	-45,01 m2	267,06 m2
R+3	309,62 m2	-51,74 m2	257,88 m2
R+4	324,42 m2	-57,36 m2	267,06 m2
R+5	327,88 m2	-61,90 m2	265,98 m2
Toit	0,00 m2	0,00 m2	0,00 m2

SHON Bâtiment A
1646,88 m2

Bâtiment B

	SHOB	surfaces hors shon	SHON
RdC	306,97 m2	-46,92 m2	260,05 m2
R+1	267,74 m2	-109,27 m2	158,47 m2
R+2	278,57 m2	-72,11 m2	206,46 m2
R+3	278,57 m2	-72,11 m2	206,46 m2
R+4	278,57 m2	-72,11 m2	206,46 m2
R+5	278,57 m2	-72,11 m2	206,46 m2
R+6	260,61 m2	-84,13 m2	176,48 m2
Toit	0,00 m2	0,00 m2	0,00 m2

SHON Bâtiment B
1420,84 m2



Bâtiment C

	SHOB	surfaces hors shon	SHON
RdC	209,90 m2	-177,76 m2	32,14 m2
R+1	304,87 m2	-69,66 m2	235,21 m2
R+2	314,44 m2	-79,23 m2	235,21 m2
R+3	314,44 m2	-79,23 m3	235,21 m2
R+4	314,44 m2	-79,23 m4	235,21 m2
R+5	314,44 m2	-79,23 m5	235,21 m2
R+6	314,44 m2	-79,23 m6	235,21 m2
R+7	274,08 m2	-126,83 m7	147,25 m2
Toit	0,00 m2	0,00 m2	0,00 m2

SHON Bâtiment C
1590,65 m2

Bâtiment D

	SHOB	surfaces hors shon	SHON
RdC	771,47 m2	-329,68 m2	441,79 m2
R+1	834,57 m2	-116,57 m2	718,00 m2
R+2	839,14 m2	-109,45 m2	729,69 m2
R+3	821,49 m2	-102,09 m2	719,40 m2
R+4	838,39 m2	-112,52 m2	725,87 m2
R+5	817,34 m2	-104,41 m2	712,93 m2
R+6	768,71 m2	-414,59 m2	354,12 m2
R+7	424,43 m2	-87,79 m2	336,64 m2
R+8	272,03 m2	-84,24 m2	187,79 m2
Toit	0,00 m2	0,00 m2	0,00 m2

SHON Bâtiment D
4926,23 m2

SHOB Globale
19472,53 m2

SHON Globale
9600,22 m2

$$\text{Ratio} \frac{\text{SHAB}}{\text{SHON}} = \frac{7590,24 \text{ m2}}{9600,22 \text{ m2}} = 79,1 \%$$



Indicateurs pour l'analyse de la contribution d'un projet urbain à l'îlot de chaleur



Permis de Construire
Lyon Confluence - Lot QN1
Tableaux de surface - annexes du formulaire PC158

QN1-b HERVE VINCENT		BATIMENT DARSE			ACCESSION					
NIVEAUX	SURFACES HORS ŒUVRE BRUTES	Combles et sous-sols non aménagés	Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	Stationnement des véhicules dans la construction	S-(+a+b+c)	dont surfaces affectées à l'habitation	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation	Logement des récoltes des animaux du matériel agricole, serres de production	Déduction spécifique réfection d'habitation	SURFACES HORS ŒUVRE NETTES (S"x0,95+S")-(d+e)
N-1	837,93	30,97	0	806,96	0	0	0	0	0	0
RDC	220,41	53,46	0	0	171,95	47,2	124,75	0	0	170
Entresol	154,59	146,52	0	0	8,07	8,07	0	0	0	8
R+1	321,73	0	18,95	0	302,78	302,78	0	0	0	288
R+2	291,79	0	17,71	0	274,08	274,08	0	0	0	260
R+3	321,73	0	18,95	0	302,78	302,78	0	0	0	288
R+4	344,37	0	36,65	0	307,72	307,72	0	0	0	292
R+5	282,73	0	17,71	0	265,02	265,02	0	0	0	252
R+6	302,78	0	113,53	0	189,25	189,25	0	0	0	180
R+7	299,31	6,95	157,61	0	134,74	134,74	0	0	0	128
Toit.terrasse	273	0	273	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	3660,37	242,91	654,11	806,96	1956,39	1831,64	124,75	0	0	1 865 m²

QN1-b HERVE VINCENT		BATIMENT JARDIN			PLS					
NIVEAUX	SURFACES HORS ŒUVRE BRUTES	Combles et sous-sols non aménagés	Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	Stationnement des véhicules dans la construction	S-(+a+b+c)	dont surfaces affectées à l'habitation	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation	Logement des récoltes des animaux du matériel agricole, serres de production	Déduction spécifique réfection d'habitation	SURFACES HORS ŒUVRE NETTES (S"x0,95+S")-(d+e)
RDC	328,12	55,38	0	241,77	30,97	30,97	0	0	0	29
Entresol	247,43	243,83	0	0	3,6	3,6	0	0	0	3
R+1	292,8	0	48,45	0	244,35	244,35	0	0	0	232
R+2	255,73	0	11,39	0	244,34	244,34	0	0	0	232
R+3	255,73	0	7,67	0	248,06	248,06	0	0	0	236
R+4	258,76	0	14,11	0	244,65	244,65	0	0	0	232
R+5	258,76	0	14,11	0	244,65	244,65	0	0	0	232
R+6	256,1	0	29,18	0	226,92	226,92	0	0	0	216
R+7	221,98	6,83	70,85	0	144,3	144,3	0	0	0	137
R+8	208,45	7,01	110,18	0	91,26	91,26	0	0	0	87
Toit.terrasse	163,23	0	163,23	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	2747,09	313,05	469,17	241,77	1723,1	1723,1	0	0	0	1 637 m²

TOTAL BATIMENTS QN1b **3 502 m²**

TOTAL BATIMENTS QN1 **10 316 m²**

Architectes Lot QN1a : DUSAPIN LECLERCQ Maître d'ouvrage Lot QN1 : SCI Lyon Confluence La Presqu'île Architecte Lot QN1b : Hervé VINCENT

Permis de Construire
Lyon Confluence - Lot QN1
Tableaux de surface - annexes du formulaire PC158

QN1-a DUSAPIN & LECLERCQ		BATIMENT DARSE			ACCESSION					
NIVEAUX	SURFACES HORS ŒUVRE BRUTES	Combles et sous-sols non aménagés	Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	Stationnement des véhicules dans la construction	S-(+a+b+c)	dont surfaces affectées à l'habitation	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation	Logement des récoltes des animaux du matériel agricole, serres de production	Déduction spécifique réfection d'habitation	SURFACES HORS ŒUVRE NETTES (S"x0,95+S")-(d+e)
N-1	1936	113,15	74,54	1748,31	0	0	0	0	0	0
RDC	577,88	35,36	86,45	105,47	350,6	71,63	278,97	0	0	347
Entresol	154,73	0	0	0	154,73	84,18	70,55	0	0	151
R+1	612,2	0	43,9	0	568,3	568,3	0	0	0	540
R+2	507,03	0	15,98	0	491,05	491,05	0	0	0	466
R+3	558,23	0	38,4	0	519,83	519,83	0	0	0	494
R+4	571,83	0	38,35	0	533,48	533,48	0	0	0	507
R+5	521,44	0	19,06	0	502,38	502,38	0	0	0	477
R+6	577,31	0	205,4	0	371,91	371,91	0	0	0	353
R+7	415,66	30,05	188,5	0	197,11	197,11	0	0	0	187
Toit.terrasse	319,13	0	319,13	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	6751,44	178,56	1029,71	1853,78	3689,39	3339,87	349,52	0	0	3 522 m²

QN1-a DUSAPIN & LECLERCQ		BATIMENT JARDIN			ACCESSION					
NIVEAUX	SURFACES HORS ŒUVRE BRUTES	Combles et sous-sols non aménagés	Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	Stationnement des véhicules dans la construction	S-(+a+b+c)	dont surfaces affectées à l'habitation	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation	Logement des récoltes des animaux du matériel agricole, serres de production	Déduction spécifique réfection d'habitation	SURFACES HORS ŒUVRE NETTES (S"x0,95+S")-(d+e)
RDC	1271,02	35,19	40,26	1139,01	56,56	56,56	0	0	0	54
Entresol	1278,23	83,98	815,52	0	378,73	378,73	0	0	0	360
R+1	580,27	0	70,44	0	509,83	509,83	0	0	0	484
R+2	480,47	0	24,81	0	455,66	455,66	0	0	0	433
R+3	521,03	0	43,43	0	477,6	477,6	0	0	0	454
R+4	536,7	0	55,64	0	481,06	481,06	0	0	0	457
R+5	465,08	0	19,06	0	446,02	446,02	0	0	0	424
R+6	524,18	0	148,71	0	375,47	375,47	0	0	0	357
R+7	426,04	9,65	180,75	0	235,64	235,64	0	0	0	224
R+8	314,47	0	265,48	0	48,99	48,99	0	0	0	47
Toit.terrasse	87,83	0	87,83	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	6485,32	128,82	1751,93	1139,01	3465,56	3465,56	0	0	0	3 292 m²

TOTAL BATIMENTS QN1a **6 815 m²**

Architectes Lot QN1a : DUSAPIN LECLERCQ Maître d'ouvrage Lot QN1 : SCI Lyon Confluence La Presqu'île Architecte Lot QN1b : Hervé VINCENT



SHON - PC - CONFLUENCE
14/04/06 - ILOT NORD BAT 08 45 LOGEMENTS

NIVEAUX	(S) SURFACES HORS OEUVRE BRUTES	SURFACES DEDUITES			(S') $S - (a + b + c)$	dont surfaces affectées à l'habitation (S ^h)	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation (S ^u)	(d) Logement des récoltes, des animaux, du matériel agricole, serres de production	(e) Dédution spécifique réfection d'habitation	(Sa) SURFACES HORS OEUVRE NETTES $(S' \times 0,95 + S') - (d + e)$
		(a) Comblés et sous-sols non aménageables	(b) Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	(c) Stationnement des véhicules dans la construction						
R-1	38.10	38.10	0.00		0.00	0.00	0.00			0.00
RdC	862.20	0.00	0.00	22.20	840.00	300.00	540.00			825.00
Etage 1	633.25	0.00	8.80		624.45	624.45				593.23
Etage 2	611.86		74.80		537.06	537.06				510.21
Etage 3	680.20		152.39		527.81	527.81				501.42
Etage 4	581.35		52.27		529.08	529.08				502.63
Etage 5	581.35		52.27		529.08	529.08				502.63
Etage 6	581.35		52.27		529.08	529.08				502.63
Etage 7	715.69		225.44		490.25	490.25				465.74
Etage 8	330.33		26.44		303.89	303.89				288.70
Etage 9	0.00		0.00		0.00	0.00				0.00
Toiture	564.00		564.00		0.00	0.00				0.00
total	6 179.68	38.10	1 208.68	22.20	4 910.70	4 370.70	540.00	0.00	0.00	4 692.17

SHON - PC - CONFLUENCE
14/04/06 - ILOT SUD BAT 09 16 LOGEMENTS DONT 2 DUPLEX

NIVEAUX	(S) SURFACES HORS OEUVRE BRUTES	SURFACES DEDUITES			(S') $S - (a + b + c)$	dont surfaces affectées à l'habitation (S ^h)	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation (S ^u)	(d) Logement des récoltes, des animaux, du matériel agricole, serres de production	(e) Dédution spécifique réfection d'habitation	(Sa) SURFACES HORS OEUVRE NETTES $(S' \times 0,95 + S') - (d + e)$
		(a) Comblés et sous-sols non aménageables	(b) Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	(c) Stationnement des véhicules dans la construction						
R-1	14.60	14.60			0.00					
RdC	159.00			22.30	136.70	57.90	78.80			133.81
Etage 1	146.01				146.01	146.01				138.71
Etage 2	146.01				146.01	146.01				138.71
Etage 3	146.01				146.01	146.01				138.71
Etage 4	145.95				145.95	145.95				138.65
Etage 5	148.88		2.80		146.08	146.08				138.78
Etage 6	155.12		8.80		146.32	146.32				139.00
Etage 7	158.77		12.40		146.37	146.37				139.05
Etage 8	158.86		12.40		146.46	146.46				139.14
Etage 9	99.36		12.40		86.96	86.96				82.61
Toiture	102.30		102.30		0.00	0.00				0.00
total	1 580.87	14.60	151.10	22.30	1 392.87	1 314.07	78.80	0.00	0.00	1 327.17

SHON - PC - CONFLUENCE
14/04/06 - ILOT NORD BAT 10 30 LOGEMENTS DONT 2 DUPLEX

NIVEAUX	(S) SURFACES HORS OEUVRE BRUTES	SURFACES DEDUITES			(S') $S - (a + b + c)$	dont surfaces affectées à l'habitation (S ^h)	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation (S ^u)	(d) Logement des récoltes, des animaux, du matériel agricole, serres de production	(e) Dédution spécifique réfection d'habitation	(Sa) SURFACES HORS OEUVRE NETTES $(S' \times 0,95 + S') - (d + e)$
		(a) Comblés et sous-sols non aménageables	(b) Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	(c) Stationnement des véhicules dans la construction						
R-1	26.80	26.80	0.00		0.00	0.00	0.00			0.00
RdC	435.21	0.00	0.00	22.00	413.21	235.81	177.40			401.42
Etage 1	381.03		39.03		342.00	342.00				324.90
Etage 2	381.03		22.11		358.92	358.92				340.97
Etage 3	381.03		22.11		358.92	358.92				340.97
Etage 4	381.03		43.68		337.35	337.35				320.48
Etage 5	337.62		36.68		300.94	300.94				285.89
Etage 6	423.67		86.33		337.34	337.34				320.47
Etage 7	423.67		46.51		377.16	377.16				358.30
Etage 8	379.89		146.88		233.01	233.01				221.36
Etage 9	248.82		109.20		139.62	139.62				132.64
Toiture	285.70		285.70		0.00	0.00				0.00
total	4 085.50	26.80	838.23	22.00	3 198.47	3 021.07	177.40	0.00	0.00	3 047.42



SHON - PC- CONFLUENCE
14/04/06 - ILOT SUD BAT 04 12 LOGEMENTS

NIVEAUX	SURFACES HORS OEUVRE BRUTES	SURFACES DEDUITES			S' - (a + b + c)	dont surfaces affectées à l'habitation	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation	d	e	Sa
		a Comblés et sous-sols non aménageables	b Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	c Stationnement des véhicules dans la construction						
R-1	20.90	20.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
RdC	249.97	0.00	0.00	22.19	227.78	116.68	111.10			221.95
Mezza	33.00	0.00	0.00	0.00	33.00	33.00	0.00			31.35
Etage 1	249.97	0.00	68.46	0.00	181.51	181.51	0.00			172.43
Etage 2	252.54	0.00	37.90	0.00	214.64	214.64	0.00			203.91
Etage 3	252.54	0.00	37.90	0.00	214.64	214.64	0.00			203.91
Etage 4	230.45	0.00	37.90	0.00	192.55	192.55	0.00			182.92
Etage 5	252.54	0.00	37.90	0.00	214.64	214.64	0.00			203.91
Etage 6	230.45	0.00	37.90	0.00	192.55	192.55	0.00			182.92
Etage 7	242.71	0.00	90.20	0.00	152.51	152.51	0.00			144.88
Etage 8	242.18	0.00	94.71	0.00	147.47	147.47	0.00			140.10
Etage 9										
Etage 10										
Toiture	200.66	0.00	200.66	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
total	2 457.91	20.90	643.53	22.19	1 771.29	1 660.19	111.10	0.00	0.00	1 688.28

SHON - PC- CONFLUENCE
14/04/06 - ILOT SUD BAT 05 16 LOGEMENTS

NIVEAUX	SURFACES HORS OEUVRE BRUTES	SURFACES DEDUITES			S' - (a + b + c)	dont surfaces affectées à l'habitation	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation	d	e	Sa
		a Comblés et sous-sols non aménageables	b Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	c Stationnement des véhicules dans la construction						
R-1	27.40	27.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
RdC	207.84	0.00	0.00	22.19	185.65	74.55	111.10			181.92
Mezza	39.00	0.00	0.00	0.00	39.00	39.00	0.00			37.05
Etage 1	182.77	0.00	13.15	0.00	169.62	169.62	0.00			161.14
Etage 2	182.77	0.00	13.15	0.00	169.62	169.62	0.00			161.14
Etage 3	182.77	0.00	13.15	0.00	169.62	169.62	0.00			161.14
Etage 4	182.77	0.00	13.15	0.00	169.62	169.62	0.00			161.14
Etage 5	182.58	0.00	24.65	0.00	157.93	157.93	0.00			150.03
Etage 6	165.26	0.00	21.61	0.00	143.65	143.65	0.00			136.47
Etage 7	150.39	0.00	6.73	0.00	143.66	143.66	0.00			136.48
Etage 8	139.46	0.00	0.00	0.00	139.46	139.46	0.00			132.49
Etage 9	121.92	0.00	38.14	0.00	83.78	83.78	0.00			79.59
Etage 10										
Toiture	106.03	0.00	106.03	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
total	1 870.96	27.40	249.76	22.19	1 571.61	1 460.51	111.10	0.00	0.00	1 498.58

SHON - PC - CONFLUENCE
14/04/06 - ILOT SUD BAT 6 28 LOGEMENTS DONT 4 DUPLEX

NIVEAUX	SURFACES HORS OEUVRE BRUTES	SURFACES DEDUITES			S' - (a + b + c)	dont surfaces affectées à l'habitation	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation	d	e	Sa
		a Comblés et sous-sols non aménageables	b Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	c Stationnement des véhicules dans la construction						
R-1	27.90	27.90	0.00		0.00	0.00	0.00			0.00
RdC	50.05	50.05	0.00		0.00	0.00	0.00			0.00
Mezza	21.20				21.20	21.20				20.14
Etage 1	353.10		0.00	22.10	331.00	331.00				314.45
Etage 2	348.24		30.98		317.26	317.26				301.40
Etage 3	348.24		30.98		317.26	317.26				301.40
Etage 4	348.24		30.98		317.26	317.26				301.40
Etage 5	348.24		30.98		317.26	317.26				301.40
Etage 6	380.63		79.97		300.66	300.66				285.63
Etage 7	380.63		37.80		342.83	342.83				325.69
Etage 8	335.21		85.35		249.86	249.86				237.37
Etage 9	258.20				258.20	258.20				245.29
Etage 10	254.18		101.30		152.88	152.88				145.24
Toiture	293.80		293.80		0.00	0.00				0.00
total	3 747.86	77.95	722.14	22.10	2 925.67	2 925.67	0.00	0.00	0.00	2 779.39



SHON - PC- CONFLUENCE
14/04/06 - ILOT SUD BAT 07 28 LOGEMENTS DONT 2 DUPLEX

NIVEAUX	(S) SURFACES HORS OEUVRE BRUTES	SURFACES DEDUITES			(S') $S - (a + b + c)$	dont surfaces affectées à l'habitation (S'')	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation (S''')	(d) Logement des récettes, des animaux, et matériel agricole, serres de production	(e) Déduction spécifique réfection d'habitation	(Sa) SURFACES HORS OEUVRE NETTES $(S'' \times 0,95 + S''') - (d + e)$
		(a) Comblés et sous-sols non aménageables	(b) Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	(c) Stationnement des véhicules dans la construction						
R-1	31.50	31.50	0.00		0.00	0.00	0.00			0.00
RdC	44.52	44.52	0.00		0.00	0.00	0.00			0.00
Mezza	21.20		0.00		21.20	21.20				20.14
Etage 1	340.62		14.08	21.36	305.18	305.18				289.92
Etage 2	348.16		44.11		304.05	304.05				288.85
Etage 3	348.16		44.11		304.05	304.05				288.85
Etage 4	348.16		44.11		304.05	304.05				288.85
Etage 5	426.26		134.07		292.19	292.19				277.58
Etage 6	391.06		93.48		297.58	297.58				282.70
Etage 7	312.96		19.84		293.12	293.12				278.46
Etage 8	312.96		19.84		293.12	293.12				278.46
Etage 9	381.50		201.54		179.96	179.96				170.96
Etage 10	185.23	28.45	51.52		105.26	105.26				100.00
Toiture	208.80	208.80	0.00		0.00	0.00				0.00
total	3 701.09	313.27	666.70	21.36	2 699.76	2 699.76	0.00	0.00	0.00	2 564.77

SHON PC - CONFLUENCE
14/04/06 - ILOT NORD BAT,12 35 LOGEMENTS + 4 ATELIERS

NIVEAUX	(S) SURFACES HORS OEUVRE BRUTES	SURFACES DEDUITES			(S') $S - (a + b + c)$	dont surfaces affectées à l'habitation (S'')	et dont surfaces affectées à un autre usage que l'habitation (S''')	(d) Logement des récettes, des animaux, et matériel agricole, serres de production	(e) Déduction spécifique réfection d'habitation	(Sa) SURFACES HORS OEUVRE NETTES $(S'' \times 0,95 + S''') - (d + e)$
		(a) Comblés et sous-sols non aménageables	(b) Toitures-terrasses, balcons, loggias et surfaces non closes au rez-de-chaussée	(c) Stationnement des véhicules dans la construction						
S/sol -1	0.00	0.00			0.00	0.00				0.00
total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAGE A										
RdeC	208,46	39,56			168,90	168,90				160,46
Etage 1	197,58		30,69		166,89	166,89				158,55
Etage 2	197,58		30,69		166,89	166,89				158,55
Etage 3	197,58		30,69		166,89	166,89				158,55
Etage 4	183,96		17,08		166,88	166,88				158,54
Etage 5	197,58		30,69		166,89	166,89				158,55
Etage 6	183,96		17,08		166,88	166,88				158,54
Etage 7	72,84				72,84	72,84				69,20
total	1 439,54	39,56	156,92	0,00	1 243,06	1 243,06	0,00	0,00	0,00	1 180,91
CAGE B										
RdeC	354,90	58,08			296,82	296,82				281,98
Etage 1	288,39		40,95		247,44	247,44				233,07
Etage 2	280,00		34,17		245,83	245,83				233,54
Etage 3	288,39		40,95		247,44	247,44				235,07
Etage 4	280,00		34,17		245,83	245,83				233,54
Etage 5	288,39		40,95		247,44	247,44				235,07
Etage 6	280,00		34,17		245,83	245,83				233,54
Etage 7	145,68				145,68	145,68				138,40
total	2 205,75	58,08	225,36	0,00	1 922,31	1 922,31	0,00	0,00	0,00	1 826,19
CAGE C										
RdeC	236,05	67,15			168,90	168,90				160,46
Etage 1	197,58		30,69		166,89	166,89				158,55
Etage 2	197,58		30,69		166,89	166,89				158,55
Etage 3	197,58		30,69		166,89	166,89				158,55
Etage 4	183,96		17,08		166,88	166,88				158,54
Etage 5	197,58		30,69		166,89	166,89				158,55
Etage 6	183,96		17,08		166,88	166,88				158,54
Etage 7	72,84				72,84	72,84				69,20
total	1 467,13	67,15	156,92	0,00	1 243,06	1 243,06	0,00	0,00	0,00	1 180,91
TOTAL ABC	5 112,42	164,79	539,20	0,00	4 408,43	4 408,43	0,00	0,00	0,00	4 188,01