



**HAL**  
open science

# Caractérisation et évaluation des potentialités bioclimatiques des logements collectifs de la 2e moitié du XXe siècle

Amir Mahamoud Issa

► **To cite this version:**

Amir Mahamoud Issa. Caractérisation et évaluation des potentialités bioclimatiques des logements collectifs de la 2e moitié du XXe siècle. Architecture, aménagement de l'espace. 2018. dumas-01874463

**HAL Id: dumas-01874463**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01874463>**

Submitted on 14 Sep 2018

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

**MASTER VILLE ET ENVIRONNEMENTS URBAINS**

**SPÉCIALITÉ *AMBIANCES ET FORMES URBAINES***

**Année 2017/2018**

**Thèse de Master VEU**

***Diplôme cohabilité :***  
**École Centrale de Nantes**  
**École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes**

Présentée et soutenue par :

**AMIR MAHAMOUD ISSA**

Le 05/09/2018

À l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes

**CARACTÉRISATION ET ÉVALUATION DES POTENTIALITÉS BIOCLIMATIQUES DES LOGEMENTS COLLECTIFS DE LA  
2ÈME MOITIÉ DU XXÈ SIÈCLE**

**JURY**

**Président :**

Pascal Joanne - Maître de conférences - ENSA Nantes

**Examineurs :**

Daniel Siret - Architecte, Docteur HDR, Directeur de l'UMR AAU

Ignacio Requena-Ruiz - Maître de conférences - ENSA Nantes

Auline Rodler - Chercheure contractuelle - ENSA Nantes

---

**Directeur de mémoire :** Daniel Siret - Ignacio Requena-Ruiz

**Laboratoire/Institution :** CRENAU (UMR CNRS Ambiances Architectures Urbanités)

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## REMERCIEMENTS

Mes remerciements les plus sincères s'adressent à Daniel Siret et Ignacio Requena-Ruiz pour le temps qu'ils m'ont consacré, leurs encouragements continus, leurs conseils instructifs et leurs remarques pertinentes.

Je tiens d'autre part à remercier Thomas Leduc pour m'avoir accueilli au sein du laboratoire du CRENAU ainsi que Pascal Joanne, responsable de la spécialité Ambiances et Formes Urbaines du master Ville et Environnements Urbains.

J'adresse aussi mes remerciements à tous les intervenants et à toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.

Je profite aussi de ce mémoire pour adresser mes vifs remerciements à tout le cadre professoral et administratif de l'ENSA, de l'École Centrale de Nantes et du laboratoire AAU (l'équipe du CRENAU comme celle du CRESSON) pour leur enseignement et leur travail.

À vous tous, veuillez trouver dans ce travail le témoignage de ma sincère gratitude et de mon profond respect.

## RÉSUMÉ

Ce présent travail a été établi dans le cadre du projet de recherche Smart French qui a pour but d'établir une connaissance précise et approfondie du parc des ensembles de logements collectifs produits dans l'après-guerre, et ce, dans une perspective opérationnelle. Ce dernier s'inscrit dans le programme interministériel de recherche et d'expérimentation en architecture 2016-2020, appelé «*Architecture du XXème siècle, matière à projet pour la ville durable du XXIème siècle ; Outils conceptuels et techniques pour le recyclage, la transformation et la restauration des architectures récentes*». Il tentera de définir une nouvelle approche concernant l'amélioration thermique des édifices de logement construits dans l'après-guerre, qui constitue une part importante du parc de logement actuel en France.

En effet, ces bâtiments constituent un réservoir considérable d'économies d'énergie et présentent en même temps une esthétique singulière et fragile. Or, les modes d'intervention actuels montrent leurs faiblesses en aboutissant à des édifices étanches où l'ensemble des dispositifs thermiques et aérauliques sont mécanisés, mettant l'homme à distance de son environnement. Les qualités initiales des édifices existants ne sont donc pas exploitées car elles sont réduites à des catégories types aboutissant à des interventions peu pertinentes d'un point de vue économique, environnemental, patrimonial et social.

Tout en étant dans la continuité des travaux menés en 2017 sur les orientations solaires, l'objectif de ce travail est de qualifier les bâtiments des Trente glorieuses du point de vue des caractéristiques bioclimatiques (gestion de l'énergie, des flux solaires et de la ventilation naturelle). Ce travail vise à approfondir les connaissances sur les potentialités bioclimatiques qui pourraient être inhérentes aux logements collectifs du corpus. Pour cela, nous allons construire des indicateurs permettant une approche statistique sur un échantillon des projets de la base de données Smart French, préalablement sélectionnés à travers les études effectuées sur les orientations solaires et la quantité d'informations disponibles. Ces indicateurs vont caractériser leurs potentialités à capter l'énergie solaire, la stocker dans leurs dispositifs constructifs, la diffuser dans l'espace intérieur, ou encore la dissiper par la ventilation naturelle.

Mots-clés : bioclimatisme, les Trente glorieuses, flux solaires, énergie, déperdition, ventilation naturelle, logements collectifs, inertie thermique, indicateurs.

Discipline : Sciences de l'Environnement

CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF THE BIOCLIMATIC POTENTIALITIES OF THE  
COLLECTIVE HOUSING OF THE 2ND HALF OF THE 20TH CENTURY

## ABSTRACT

This work was developed as part of the Smart French research project, which aims to establish an accurate knowledge of the post-war housing stock for operational perspective. The latter is part of the interdepartmental program of research and experimentation in architecture 2016-2020, called "Architecture of the twentieth century, subject to project for the sustainable city of the 21st century." It will attempt to define a new approach to the thermal improvement of housing buildings built in the post-war period, which is an important part of the current housing stock in France.

Indeed, these buildings constitute a considerable reservoir of energy savings and at the same time present a singular and fragile aesthetic. However, the current modes of intervention show their weaknesses by leading to watertight buildings where all the thermal devices are mechanized, putting the man away from his environment. The initial qualities of existing buildings are therefore not exploited because they are reduced to standard categories resulting in interventions that are of little relevance from an economic, environmental, heritage or social point of view.

While being in the continuity of the work carried out in 2017 on the solar orientations, the objective of this work is to describe the buildings of the glorious Thirties from the point of view of the bioclimatic characteristics (energy management, solar flows and natural ventilation). This work aims at deepening the knowledge on the bioclimatic potentialities which could be inherent to collective housing of the corpus. For that, we will build indicators allowing a statistical approach on a pattern of projects of the Smart French database, previously selected through the studies carried out on the solar orientations and the quantity of available information. These indicators will characterize their potential to capture solar energy, store it in their constructive devices, diffuse it into the interior space, or dissipate it through natural ventilation.

Keywords: bioclimatic, the Thirty glorious, solar flows, energy, wastage, natural ventilation, collective dwellings, thermal inertia, indicators.

Discipline: Environmental Sciences

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

**Table des matières**

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	<b>8</b>
<b>CHAPITRE 1 : CONTEXTE DE LA RECHERCHE ET ÉTAT DE L'ART</b> .....	<b>10</b>
1.1. LA PÉRIODE DES TRENTE GLORIEUSES ET LES CARACTÉRISTIQUES DES GRANDS ENSEMBLES .....	10
1.1.1. <i>Le contexte socio-économique de la reconstruction d'après guerre</i> .....	10
1.1.2. <i>Du déclin des grands ensembles à partir des années 1960 au choix entre réhabilitation et destruction dans les années 1970</i> .....	12
1.2. LES PRÉOCCUPATIONS EN TERMES DE BIOCLIMATISME AU XXE SIÈCLE .....	14
1.3. LES GRANDS PRINCIPES DU BIOCLIMATISME .....	17
<b>CHAPITRE 2 : PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE</b> .....	<b>18</b>
2.1. COMMENT POUVONS-NOUS QUALIFIER LES BÂTIMENTS DES TRENTE GLORIEUSES DU POINT DE VUE DES CARACTÉRISTIQUES BIOCLIMATIQUES ? .....	18
2.2. MÉTHODE : APPROCHE STATISTIQUE À PARTIR DU CORPUS DE SMART FRENCH .....	20
<b>CHAPITRE 3 : CONSTRUCTIONS D'INDICATEURS ADAPTÉS AU CORPUS</b> .....	<b>21</b>
3.1. QUELQUES PRINCIPAUX INDICATEURS DE LA LITTÉRATURE .....	21
3.2. INDICATEURS RELATIFS À LA CAPTATION DE L'APPORT SOLAIRE (HIVER ET ÉTÉ) .....	41
3.3. INDICATEUR RELATIF À LA DÉPERDITION .....	44
3.4. INDICATEUR RELATIF À L'INERTIE THERMIQUE .....	45
3.5. INDICATEURS RELATIFS À LA VENTILATION NATURELLE TRAVERSANTE .....	47
3.6. MISE EN ŒUVRE SUR LE TABLEAU SMART FRENCH .....	48
<b>CHAPITRE 4 : ANALYSE DES POTENTIALITÉS BIOCLIMATIQUES DES BÂTIMENTS DU CORPUS</b> .....	<b>50</b>
4.1. DESCRIPTION ET PRÉSENTATION DU CORPUS .....	50
4.2. APPLICATION DES INDICATEURS .....	52
4.3. RÉSULTATS .....	52
<b>CHAPITRE 5 : DISCUSSIONS SUR LES POTENTIALITÉS BIOCLIMATIQUES DES BÂTIMENTS</b> .....	<b>57</b>
5.1. RÉSULTATS DE L'ANALYSE FACTORIELLE .....	57
5.2. COMPARAISON DEUX À DEUX .....	57
5.2.1. <i>Rapport entre la captation d'hiver et la captation d'été</i> .....	57
5.2.2. <i>Rapport entre la captation d'hiver et la déperdition</i> .....	60
5.2.3. <i>Rapport entre la captation d'hiver et l'inertie thermique</i> .....	62
5.2.4. <i>Rapport entre la captation d'été et la ventilation naturelle</i> .....	64
5.2.5. <i>Rapport entre l'inertie thermique et la déperdition</i> .....	66
5.3. POINT DE VUE GLOBAL DE L'ANALYSE FACTORIELLE .....	67
<b>CONCLUSIONS GÉNÉRALES</b> .....	<b>70</b>
<b>LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>72</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>75</b>



## Introduction générale

Ce mémoire de master VEU (Ville et Environnements Urbains) s'inscrit dans le cadre du projet de recherche Smart French, financé par le Ministère de la Culture et de la Communication. Ce dernier, d'envergure nationale, associe 6 écoles d'architecture et 7 structures de recherche différentes dont une étrangère qu'est la VU Brussel de Belgique. Piloté par Raphaël Labrunye de l'ENSA Bretagne, il rassemble toute une équipe de recherche constituée d'historiens, d'architectes, de sociologues, d'urbanistes et d'ingénieurs spécialisés. Le but du projet est de construire une connaissance précise et approfondie du parc des ensembles de logements collectifs produits dans l'après-guerre, et ce, dans une perspective opérationnelle. En effet, ce parc reflète une image négative qui est souvent due aux critiques, aussi bien au niveau énergétique que social. L'absence d'évaluation environnementale globale s'accompagne de pathologies explicitées dans plusieurs rapports récents : ponts thermiques sur les fixations de bardage, mauvaise gestion et entretien des équipements de ventilation, difficultés de mise en œuvre des étanchéités des parois, isolation extérieure inflammable, risques sanitaires de l'air intérieur, etc. (Smart French, 2018). Des politiques de transformations telles que le PNRU (Plan National de Renouvellement Urbain), les lois "grenelle de l'environnement", ou le PUCA (Plan Urbanisme Construction Architecture) dans le champ de la recherche, ont visé à promouvoir des solutions techniques opérationnelles d'amélioration énergétique en supposant que ce patrimoine bâti disposerait de qualités architecturales, urbaines, paysagères ou environnementales.

L'hypothèse du projet Smart French est qu'il semble possible d'approfondir l'évaluation de ces qualités à une plus large échelle. Il ambitionne de proposer de nouvelles approches d'élaboration d'un projet de performance énergétique globale, prenant appui sur les capacités et les potentialités déjà présentes. La problématique particulière de cette étude repose sur le fait que les qualités environnementales de la production architecturale ne se limitent pas à l'enveloppe constructive. Bien au contraire, nous retrouvons une cohérence entre l'industrialisation de procédés constructifs conçus hors-sol, une forme urbaine moderne d'objets indépendants disposés dans un espace libre, la rationalisation de l'organisation intérieure des logements et le respect du paysage.

Ainsi, ce projet de recherche Smart French s'inscrit dans le cadre du programme de recherche et d'expérimentation en architecture 2016-2020, appelé «*Architecture du XXème siècle, matière à projet pour la ville durable du XXIème siècle. Outils conceptuels et techniques pour le recyclage, la transformation et la restauration des architectures récentes*». Il tentera de définir une nouvelle approche concernant l'amélioration thermique des édifices de logement construits dans l'après-guerre, qui constitue une part importante du parc de logement actuel. Il sera organisé en deux grandes parties : **une première partie Constitution et analyse de la base de données** et **une seconde partie Propositions opérationnelles**.

La première partie se décline en trois phases :

**-Phase 1 :** Constitution de la base de données qui aura pour objectif d'être aussi complète que possible sur plus de 300 ensembles de logements de l'après-guerre déjà recensés.

**-Phase 2 :** Analyse des données dans le but d'identifier les récurrences et les étapes clés de la production de logement entre 1944 et 1974. Cette phase se décline en 6 principaux axes :

-Analyse des plans masse au regard des discours et des théories urbaines ;

-Analyse des éléments de performances énergétiques (orientation, enveloppe, thermique, ventilation).

-Analyse des matériaux utilisés dans la construction ;

-Étude de synthèse des éléments normatifs régissant la construction de l'après-guerre ;

-Analyse de la distribution des logements et des principes structurels, typologies et organisations internes ;

-Analyse des discours produits par la maîtrise d'ouvrage sur la question du confort et des consommations énergétiques.

**-Phase 3 :** Définition des récurrences et repérage des patrimoines fragiles pour restituer une connaissance multicritère sur un large corpus d'opérations

La seconde partie comporte une phase unique : Organisation d'enseignements d'ateliers et de séminaires sur cette thématique. Elle aura pour objectif principal de disposer de premières pistes de solutions innovantes dans la réhabilitation du patrimoine étudié et d'articuler recherche universitaire et pédagogie en architecture.

Ainsi, ce travail de master VEU s'inscrit dans les deux premières étapes de la phase 2 de la première partie du projet Smart French. Il porte sur l'analyse des architectures de logement collectif de la deuxième moitié du XXe siècle au prisme de l'énergie. Nous allons tenter de caractériser et d'évaluer les potentialités bioclimatiques d'un corpus d'ensembles de logements construits dans les années 1950-1970, via un travail statistique portant sur des indicateurs qui pointeront des possibles qualités bioclimatiques.

# Chapitre 1 : CONTEXTE DE LA RECHERCHE ET ÉTAT DE L'ART

## 1.1. La période des Trente glorieuses et les caractéristiques des grands ensembles

La période des Trente glorieuses se situe entre la fin de la seconde guerre mondiale en 1945 et le premier choc pétrolier en 1973. Elle se caractérise par une transformation profonde du territoire français à travers la reconstruction nécessaire de l'après-guerre, suite aux besoins colossaux en logements et l'appropriation du logement par la production industrielle. Cette dernière a généré sur le long terme, des bâtiments pouvant souffrir de pathologies thermiques liées à l'enveloppe, et qui causeraient des consommations énergétiques élevées dans les circonstances du développement durable et d'économie d'énergie.

### 1.1.1. Le contexte socio-économique de la reconstruction d'après guerre

Tout d'abord, pour expliquer la forte demande de logement dans lequel s'inscrit l'apparition des grands ensembles, il est nécessaire d'évoquer trois principaux facteurs :

- La destruction partielle des villes (figure 1),
- La croissance démographique des années 1960,
- Et la périurbanisation des grandes villes.

En effet, il faut reconstruire presque la majeure partie de la structure urbaine car plus de la moitié des grandes villes françaises dont certaines industrielles et portuaires sont concernées (Abram, 2008; Fourcaut, 2013; Voldman, 2008). L'accroissement démographique entre 1960 et 1975 a empiré les circonstances (Buttenwieser, Chevet 1997) et les besoins en logements sont énormes car la classe populaire vit dans des "taudis", de mauvaises qualités, sans point d'eau et inconfortables. De plus, il y a eu une nette augmentation du taux de population urbaine due à l'exode rural et au déplacement des populations vers les villes à partir des années 1930.

Face à ces conditions, il a été nécessaire de construire des nombreux logements dans les meilleurs délais et à bas prix sous le contrôle de l'Etat. Ainsi, plusieurs techniques de construction ont vu le jour comme le coffrage béton, l'ossature, la préfabrication lourde/légère etc. (Lucan, 2001). Par conséquent, les grands ensembles, terme apparu en 1935 dans la publication *L'Architecture d'aujourd'hui* (Rotival, 1935), ne sont produits en masse que quelques années après la guerre atteignant une vitesse de 300 000 logements/an dans les années 1960. Ils deviennent la solution contre la crise de logement et un moyen d'entrer dans la modernité en créant un contraste entre le taudis insalubre de la ville ancienne et le confort domestique moderne des grands ensembles (vide ordure, eau chaude, chauffage collectif etc.).



**Figure 1** : Libération de Saint-Lô, été 1944. Deux enfants regardent depuis les ruines le passage d'une jeep américaine dans la ville dévastée (archives Normandie 1939-1945)

Source : (Plum, 2011, p.8)

### 1.1.2. Du déclin des grands ensembles à partir des années 1960 au choix entre réhabilitation et destruction dans les années 1970

Au début des années 1950, la priorité de la mise en place des grands-ensembles est de donner désormais l'assurance d'un milieu de vie salubre et confortable sous l'influence du mouvement hygiéniste sur les théories architecturales modernistes, comme l'expérimentation des coursives, jeu de pleins et vides sur les façades, importance de l'aménagement intérieur etc. Les architectes avaient en effet la possibilité d'innover avec plus de liberté et de marge de manœuvre (figure 2). Mais cela ne reste pas sans critique. En effet, les grands ensembles sont jugés responsables de la ségrégation sociale, de la dégradation précoce du bâtiment, des tensions, des violences et de la délinquance (Vayssière, 1988).

En plus de cela, les grands mouvements d'immigration déclenchés par la décolonisation conduisent au phénomène de ghettoïsation de ces grands ensembles. On dénonce leurs formes, leur gigantisme et leur monotonie et deviennent la figure type des banlieues qu'ils devaient remplacer et faire disparaître. Pour éradiquer cela, la directive ministérielle signée en 1973 par Olivier Guichard, ministre de l'Équipement, du logement, et des transports à ce moment là, interdit les opérations de plus de 2000 logements et favorise l'insertion des nouvelles constructions dans les villes anciennes.



**Figure 2** : Caen, quartier des Quatrans, Henry Delacroix, en voie d'achèvement, vue depuis le château (fonds du Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme, 1957)

**Source** : (Plum, 2011, p.195)

Cependant, face aux deux chocs pétroliers de 1973 et 1979 signant la fin de la période des Trente glorieuses, on voit la mise en œuvre de politiques de requalification et de restructuration afin de réduire les consommations énergétiques. Étant donné le caractère provisoire des grands ensembles, conçus pour durer 45 ans, ils se dégradent rapidement et témoignent d'un mauvais fonctionnement thermique. Ce qui conduit à des réhabilitations plus ou moins conséquentes sur l'isolation extérieure des façades ou sur les espaces publics (figure 3). En 1999, le Ministère de la Culture et de la Communication crée le label Patrimoine du XXe siècle pour valoriser l'esthétique singulière des grands ensembles trop rapidement critiquée. Cette labellisation, qui ne concerne pas tous les ensembles de logements collectifs, permet d'admettre la valeur de ces bâtiments et reconsidère la production de cette période en plaçant en avant ses habitants. Les constructions sélectionnées ont été désignées selon des références historiques, sociales, culturelles, esthétiques et techniques (Gaudard et al, 2010).



**Figure 3** : Saint-Dié, Le Corbusier, (Fonds du Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme, 1952)

Source : (Plum, 2011, p.83)

## 1.2. Les préoccupations en termes de bioclimatisme au XXe siècle

Dans les années 1930, le bioclimatisme évoluait sous d'autres appellations dont notamment les maisons solaires. L'architecte moderniste américain George Fred Keck et son frère sont parmi les premiers innovateurs dans le domaine des maisons solaires entre les années 1930 et 1940 (Barber, 2016). Ils ont d'abord conçu House of Tomorrow (Maison de demain) dans l'Indiana pour l'exposition Century of progress à Chicago en 1933 (vue comme un modèle d'exposition) (figure 4), puis ont continué avec d'autres projets qui ont autant interagi avec le soleil. Nous pouvons donc voir une certaine vision de la conception qui intègre d'ores et déjà l'environnement immédiat.



Figure 4 : House of Tomorrow

Source : (National Trust for Historic Preservation, 2018)

Bien qu'il y ait eu plusieurs autres expérimentations de maisons solaires jusqu'aux années 1950, leur contexte expérimental se voit régresser dès le début des années 1960. Ceci se matérialise par les nombreux abandons et désaffectations des équipements d'expérimentation solaire (comme ceux d'AFASE -Alliance for Affordable Solar Energy-, le mur solaire de Curtis-Wright de Telkes et Olgyay ou la maison solaire IV du MIT -Massachusetts Institute of

Technology-). Même si les rares expériences isolées se poursuivent, la détermination économique, culturelle et politique pour les maisons solaires se dégrade fortement. Et pour cause, les gouvernements du monde entier se livrent entièrement à un présent et un futur alimenté par le pétrole. Le système pétrolier s'installe paisiblement à tel point qu'on compte sur le pétrole pour le chauffage et pour le transport. C'est la raison pour laquelle les deux décennies qui ont suivi la Seconde Guerre Mondiale sont qualifiées de "*transition d'une lente et rapide perte de durabilité*" aux États-Unis et dans le monde à une "*grande accélération*" des schémas sociaux caractérisée par l'inconscience de la destruction du système écologique (Barber, 2016). Mais malgré ce contexte contraignant, les maisons solaires ont été néanmoins tentées. Elles avaient seulement moins réussi à atteindre la viabilité technologique, économique et culturelle nécessaire pour être considérées et surtout parce que l'échelle de la maison individuelle ne répondait pas aux enjeux de logements de la période.

Toutefois, bien avant les crises pétrolières des années 1970, certains architectes se sont préoccupés des aspects environnementaux de l'architecture en manifestant un grand intérêt pour l'énergie solaire. Ce n'est qu'à la fin des années 1960 qu'on commence à adopter certaines techniques de construction éco-énergétiques. Dès lors, Barber (2016) évoque dans son ouvrage, "*l'émergence de l'écologie et la recherche de nouvelles perspectives pour entretenir les relations entre les êtres-humains et la nature*". Il met en avant le livre *Silent Spring* (printemps silencieux) écrit par Rachel Carson ; un livre qui a participé très fortement au lancement du mouvement écologiste dans un moment où la maison solaire est en déclin. Il est intéressant de signaler aussi que *Silent Spring* a été la cause de nombreux soutiens aux systèmes réglementaires de gestion de l'environnement (interdiction du pesticide DDT, création de l'Agence de Protection de l'Environnement etc.). Plus tard, cette émergence a été très rapidement rattrapée par l'intérêt apporté aux sources d'énergies renouvelables.

Ainsi, une nouvelle conception du monde basée sur l'écologie (comme moyen de changement social et culturel) fait son apparition vers la fin des années 1960. Elle met en avant le changement technologique et environnemental comme source de nouvelles conditions de vie. Il y a eu un intérêt vers tout ce qui est "stratégie technologique" ou "formations sociales" permettant d'aboutir à un avenir plus économe en énergie, et donc les expérimentations de maisons solaires des années 1950 deviennent pertinentes. De ce fait, nous assistons à la fin du XXe siècle à la mise en œuvre d'un concept sur la manière dont les nouvelles technologies pourraient alimenter l'Europe en s'appuyant sur les énergies renouvelables. Cela démontre le potentiel de l'Architecture à contribuer à une possible constitution de nouvelles conditions écologique et énergétique. Les expériences architecturales solaires, les concours, les écrits et les constructions d'après-guerre démontrent que les domaines de conception ont été un support important pour se concentrer, étudier, et expérimenter les dynamiques sociales et environnementales et plus particulièrement l'énergie.

En France, le secteur du bâtiment correspond à près de 43% de la consommation d'énergie finale, ce qui représente une part primordiale en termes de consommation énergétique. Partant de là, des politiques de transformations telles que le PNRU (Plan National de Renouvellement Urbain) et les lois "grenelle de l'environnement", ou le PUCA (Plan urbanisme construction architecture) dans le champ de la recherche ont visé à promouvoir des solutions techniques opérationnelles d'amélioration énergétique. Nous pouvons en citer deux parmi ces



dernières : l'amélioration du rendement des équipements énergétiques et le perfectionnement des performances de l'enveloppe des bâtiments. Cette dernière optique, qui est souvent matérialisée par les biais d'isolation, peut soulever certaines contradictions. En effet, augmenter l'étanchéité de l'enveloppe extérieure peut a priori conduire à une certaine performance thermique, mais ce serait aussi priver le bâtiment de son environnement (Chesné, 2012). En d'autres termes, un environnement ne peut pas être seulement inhospitalier, car il peut contenir des capacités énergétiques naturelles que l'on peut exploiter.

C'est dans cette optique que l'appellation "architecture bioclimatique" prône l'intégration du bâtiment dans son environnement, en tirant parti des ressources énergétiques qu'il peut fournir. Mais si elle n'a jamais été une solution efficace contre les problèmes énergétiques du bâtiment, c'est parce que c'est lié directement aux spécificités du contexte local, la forme de chaque bâtiment et leurs environnements respectifs (Olgay, 1973). Le terme « bioclimatisme » place donc les conditions du site et de l'environnement au sommet de l'étude. Nous pouvons comprendre ici que son but principal est d'obtenir des conditions de vie et de confort d'ambiance adéquats et agréables (températures, taux d'humidité, luminosité, etc.) de manière la plus naturelle qui soit, en utilisant avant tout des moyens architecturaux et en utilisant le moins possible les moyens techniques mécanisés.

Face aux enjeux énergétiques qui menacent l'être humain et son environnement, et devant la question du besoin énergétique, l'approche actuelle tend rapidement à chercher des solutions adéquates pour y faire face. Ainsi, des moyens tels que la réduction des consommations énergétiques ou l'usage des énergies renouvelables sont mis en avant à la fin du XXe siècle.

### 1.3. Les grands principes du bioclimatisme

Dans le sens où l'abri permet d'approcher des conditions climatiques optimales en filtrant les éléments environnementaux selon leurs contributions, il est essentiel de savoir si ces derniers sont bénéfiques ou néfastes au confort de l'homme.

C'est dans cette optique que nous pouvons d'ores et déjà identifier les grandes lignes qui caractérisent le bioclimatisme à savoir :

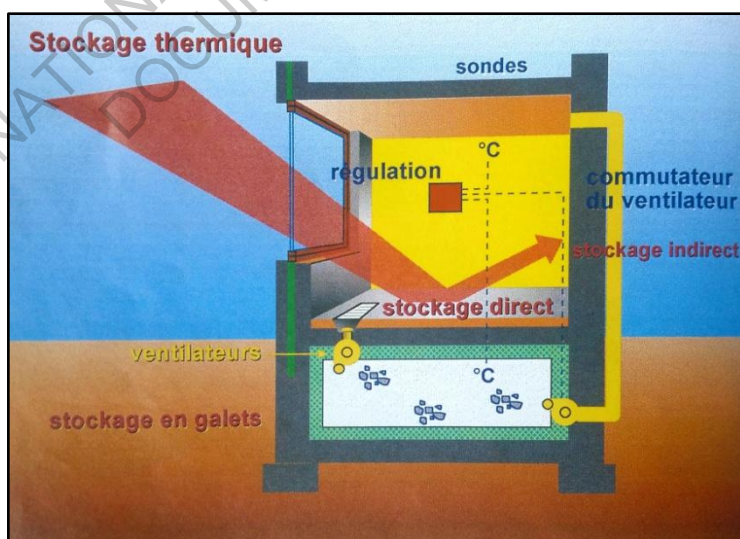
- L'orientation du bâtiment : De manière à profiter au maximum de la lumière et de l'énergie du soleil en l'exploitant le plus naturellement possible qui soit ; tout en tenant compte du climat, de la topographie et de l'environnement immédiat. La répartition intérieure des pièces en fonction de l'orientation est cruciale pour exploiter le potentiel de l'ensoleillement,

- La gestion du flux solaire en suivant les saisons (captage en hiver et protection en été), dépend fortement des aspects saisonniers et de la construction en termes de protection solaire et du pourcentage de la surface vitrée. Une réflexion lors de la conception en termes de surface vitrée par rapport à l'orientation favoriserait une bonne gestion de l'apport solaire,

- La gestion de l'énergie favorise un meilleur équilibre entre la restitution et la déperdition d'énergie,

- L'inertie thermique exprime quant à elle la capacité de stockage et de diffusion de l'énergie. Il peut exister plusieurs dispositifs de stockage thermique (un exemple dans la figure 5),

- Et enfin la ventilation naturelle traversante qui exige une bonne réflexion lors de la distribution des appartements dans les bâtiments, ou des pièces dans les appartements de telle manière à favoriser les entrées et sorties d'air le plus naturellement qui soit. D'autre part, il faut s'assurer qu'il y ait une bonne interaction entre les vents dominants d'été et le bâtiment pour assurer un refroidissement en cas de risque de surchauffe d'été.



**Figure 5** : Le tunnel à galet, un mécanisme de stockage d'énergie inter-saisonnier. Il est composé d'une tranchée, d'un enrobage de galets, des galets, d'une conduite et d'un ventilateur. Il chauffe l'air entrant des maisons pendant l'hiver et le refroidit l'été, grâce à son dispositif d'optimisation d'énergie enterré sous l'habitation.

Source : (Liébard, 1996, p. 92)

## Chapitre 2 : PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

### 2.1. Comment pouvons-nous qualifier les bâtiments des Trente glorieuses du point de vue des caractéristiques bioclimatiques ?

Nous avons vu qu'il y a donc un réel besoin de retracer les connaissances historiques de la période des Trente glorieuses. Cette dernière se caractérise par deux phases : une situation économique de pénurie dans un contexte instable, suivie d'une prospérité inédite. L'attention portée par les concepteurs à la maîtrise des ambiances et à la qualité architecturale semble aussi évoluer très substantiellement. La littérature sur le sujet, souvent issue des critiques de la modernité, généralise celle-ci comme une période sans conception environnementale, alors que la période suivante post-crise pétrolière est vue comme innovante. Néanmoins, la période des Trente glorieuses est synonyme d'une transformation profonde du territoire français à travers la reconstruction nécessaire de l'après-guerre suite aux besoins colossaux en logements et l'appropriation du logement par la production industrielle. Cette dernière a généré des bâtiments souffrant de pathologies thermiques liées à l'enveloppe, qui causent des consommations énergétiques élevées dans les circonstances actuelles de développement durable et d'économie d'énergie.

Ainsi, l'objectif du projet de recherche Smart French est de construire une connaissance précise et approfondie du parc des ensembles de logements collectifs produits dans l'après-guerre, et ce, dans une perspective opérationnelle. Il y a différentes raisons qui confirment l'importance de porter un intérêt particulier aux logements collectifs construits dans les Trente Glorieuses que ça soit en termes de quantité (le parc de logement représente près 20% des logements en France), de problématique énergétique (Les contraintes énergétiques sont facultatives devant l'urgence de la reconstruction et le manque de financement, ce qui est en contradiction avec les inquiétudes actuelles en matière d'énergie, et démolir pour reconstruire des logements très économes n'est pas un gain environnemental) et finalement en terme de patrimoine du XXe siècle car certains projets sont vus comme des projets historiques à préserver et améliorer.

En effet, il est possible que le patrimoine bâti de l'après-guerre dispose bien de qualités architecturales, urbaines, paysagères et environnementales. Smart French ambitionne donc de proposer de nouvelles approches d'élaboration d'un projet de performance énergétique globale, prenant appui sur les capacités et les potentialités déjà présentes. La problématique particulière de cette étude repose sur le fait que les qualités environnementales de la production architecturale ne se limitent pas à l'enveloppe constructive. En effet, ces bâtiments constituent un réservoir considérable d'économies d'énergie et présentent en même temps une esthétique singulière et fragile. Or, les modes d'intervention actuels montrent leurs faiblesses en aboutissant à des édifices étanches où l'ensemble des dispositifs thermiques et aérauliques sont mécanisés, mettant l'homme à distance de son environnement. Les qualités initiales des édifices existants ne sont donc pas exploitées car elles sont réduites à des

catégories types aboutissant à des interventions peu pertinentes d'un point de vue économique, environnemental, patrimonial et social.

C'est dans cette optique du projet de recherche Smart French que ce mémoire de master Ville et Environnements Urbains s'inscrit. Tout en étant dans la continuité des travaux menés en 2017 (El Alami, 2017) sur les orientations solaires, l'objectif de ce travail est de qualifier les bâtiments des Trente glorieuses du point de vue des caractéristiques bioclimatiques. Dans ce mémoire, nous allons nous focaliser sur des paramètres bien définis qui sont les potentialités bioclimatiques propres à ces logements collectifs. Nous allons tenter d'approfondir les connaissances sur les potentialités bioclimatiques qui pourraient être inhérentes aux logements collectifs du corpus.

Partant de là, comment pouvons-nous qualifier les bâtiments des Trente glorieuses du point de vue des caractéristiques bioclimatiques ? Telle est la question à laquelle ce mémoire de master souhaite trouver des réponses.

Nous supposons que dans le contexte de reconstruction d'après-guerre, il pourrait y avoir éventuellement quelques réflexions qui amèneraient à envisager une intégration des principes bioclimatiques dans la construction des grands ensembles, puisque ces derniers sont construits en pleine période de développement du bioclimatisme. Et si ces principes bioclimatiques existent, sont-ils intégrés d'une manière intentionnelle ou plutôt hasardeuse ?

## 2.2. Méthode : Approche statistique à partir du corpus de Smart French

Jusqu'à maintenant, nous avons présenté la période des Trente glorieuses et les caractéristiques des grands ensembles à travers le contexte socio-économique de la reconstruction d'après-guerre, suivi du déclin des grands ensembles à partir des années 1960 au choix entre réhabilitation et destruction dans les années 1970. Ensuite, nous avons abordé les préoccupations en termes de bioclimatisme au XXe siècle ainsi que les grands principes du bioclimatisme. Tout cela dans l'objectif de contextualiser ce travail de master qui a pour but de qualifier les bâtiments des Trente glorieuses du point de vue des caractéristiques bioclimatiques.

À présent, et dans le but de répondre à notre problématique, notre méthode sera d'adopter une approche statistique en établissant des indicateurs adaptés au corpus. Ces derniers vont nous permettre de faire une approche statistique sur quatorze projets de la base de données Smart French, préalablement sélectionnés à travers les études effectuées sur les orientations solaires et la quantité d'informations disponibles.

Dans un premier temps, nous allons évoquer les principaux indicateurs de la littérature dans le domaine du bioclimatisme. Puis dans un second temps, nous allons établir des indicateurs qui vont caractériser les potentialités des logements collectifs à capter l'énergie solaire, la stocker dans leurs dispositifs constructifs, la diffuser dans l'espace intérieur, ou encore la dissiper par la ventilation naturelle.

Après cela, nous allons mettre en œuvre ces indicateurs sur le tableau Smart French en ajoutant les paramètres nécessaires aux calculs des indices. Ensuite, nous allons présenter et décrire généralement le corpus du projet de recherche avant d'appliquer les indicateurs. Les résultats des indices feront l'objet d'une analyse factorielle sous le logiciel R Studio. Nous allons enfin interpréter les résultats de l'analyse factorielle afin d'évaluer l'échantillon étudié du point de vue des caractéristiques bioclimatiques.

Nous n'avons pas pu analyser les 308 projets de la base parce que l'objectif était de mettre en place les indicateurs et les tester sur un échantillon donné. Il y a plusieurs indicateurs possibles, par conséquent notre but n'est pas de les approfondir, mais plutôt de les mettre en place d'une manière plus générale et plus simple à calculer, afin qu'ils permettent d'analyser avec un peu plus de temps, l'ensemble de la base de données.

## Chapitre 3 : CONSTRUCTIONS D'INDICATEURS ADAPTÉS AU CORPUS

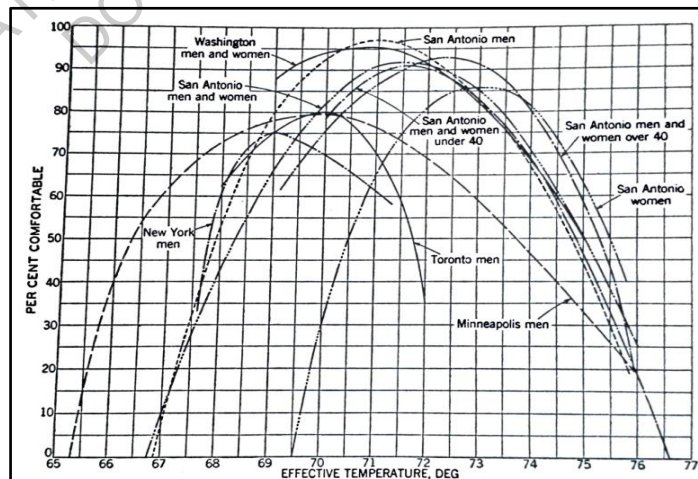
L'objectif de la mise en place des indicateurs est avant tout de pouvoir analyser la base de données. Par conséquent, pour répondre à notre problématique, nous allons élaborer des indicateurs simples, précis et clairs afin de caractériser les potentialités bioclimatiques des éléments présents dans la base de données. Pour cela, nos indicateurs vont s'intéresser à la gestion du flux solaire en termes de captation, de déperdition, et de stockage (dans leurs dispositifs constructifs via leur inertie thermique), ainsi que leur bonne exposition et perméabilité par les vents dominants. Mais avant cela, nous allons voir quelle est la position de nos indicateurs par rapport à la littérature.

### 3.1. Quelques principaux indicateurs de la littérature

Pour rédiger cette partie, nous nous sommes appuyés en majorité sur les études de : (Olgay, 1973), (Dourgnon et al, 1961), (Ferrucci, 2017), (Ferrucci, M, et al. 2018), (El Alami, 2017) et (Musy et al, 2006).

#### CAPTATION DE L'APPORT SOLAIRE / TEMPERATURE

- (Olgay, 1973) Dans son ouvrage, Olgay analyse un élément qui constitue d'après lui un critère important pour un abri écologiquement équilibré : le sentiment d'équilibre thermique. Il catégorise trois principaux éléments de l'environnement climatique : la température de l'air, le rayonnement et l'humidité. C'est dans ce contexte que l'indice E.T. (Température Effective) intervient. Il combine les effets de la température, l'humidité et le mouvement de l'air (figure 6). Avec cet indicateur, nous en convenons que la zone de confort est soumise à une grande variabilité. Elle peut évoluer avec les individus, les types de vêtements, la nature de l'activité exercée mais aussi avec le genre et l'âge de l'individu. La température idéale de l'air est généralement considérée (par les auteurs des années 1960) comme étant à mi-chemin entre les deux températures extrêmes qu'un homme peut ressentir. Mais de nos jours, il est possible que certaines températures (même proche des extrêmes) peuvent apporter un sentiment de confort.



**Figure 6 :** Relation entre la température effective et les observations en pourcentage indiquant le confort

**Source :** (Olgay, 1973, p.18)

- (Olgay, 1973) Le graphique bioclimatique intègre plusieurs indicateurs (figure 7). Il relate les besoins en termes d'effets climatiques pour atteindre le confort (par exemple : plus/moins de vent, plus/moins de rayonnement solaire, plus/moins d'humidité etc.). Il met en relation plusieurs paramètres dont le rayonnement solaire, l'ombre, l'air, la probabilité d'un coup de chaleur ou coup de soleil, l'efficacité du vent ainsi que leurs limites à travers l'humidité relative et la température. Si nous nous retrouvons par exemple, à 50% d'humidité relative pour 50° Fahrenheit (soit 10° Celsius), il faudrait environ 250 BTU/h (soit 0,07 kW/h) d'irradiation en compensation pour atteindre la zone de confort au milieu qui, elle, n'a pas besoin de compensation. Cette évaluation bioclimatique s'applique uniquement aux habitants de la zone des États-Unis et elle est vue comme point de départ pour chaque conception écologiquement équilibrée. L'objectif d'Olgay est d'en faire un ensemble d'indicateurs pour concevoir un abri sain et meilleur en limitant le plus possible l'utilisation d'aides mécaniques pour le contrôle du climat.

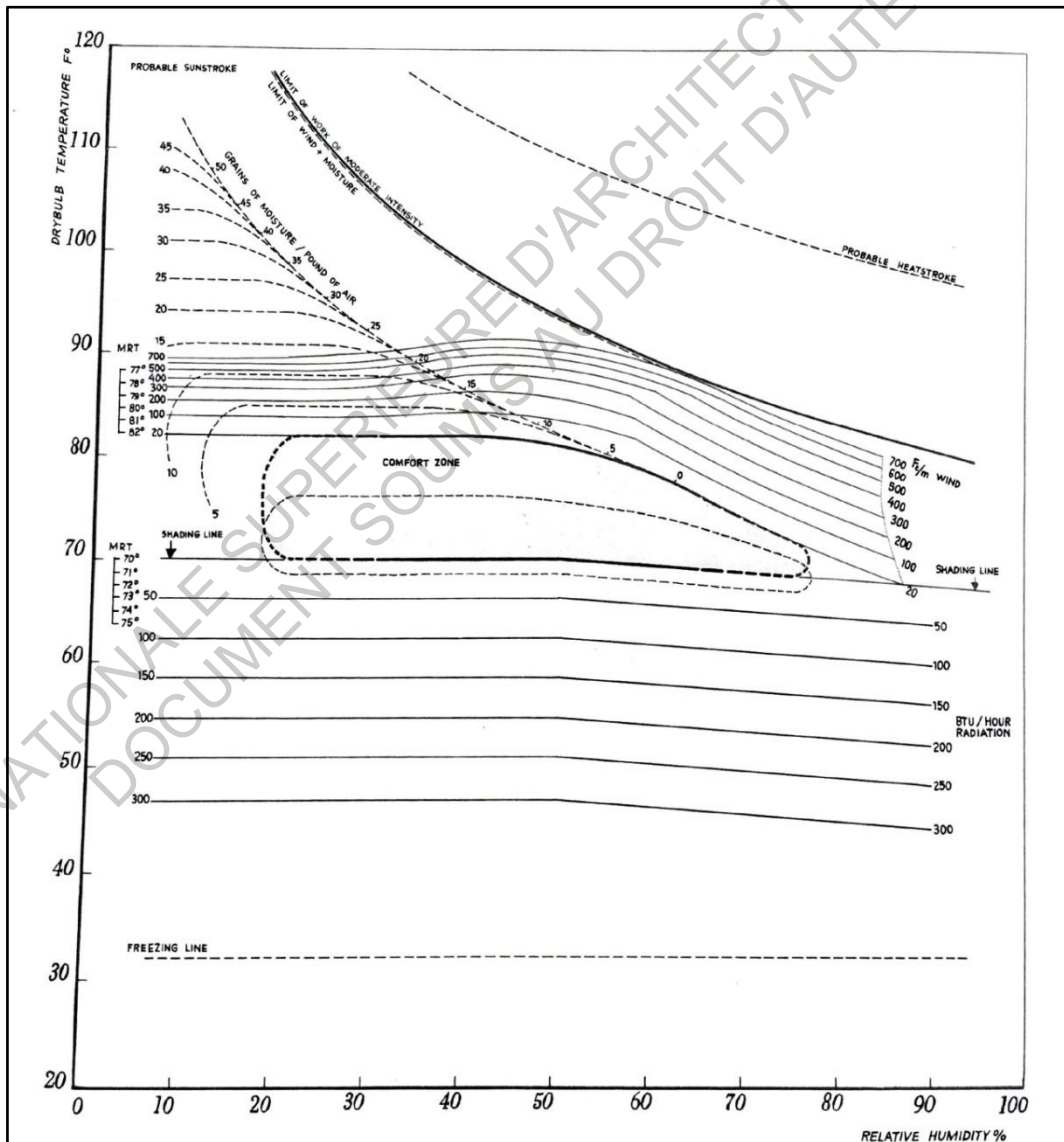


Figure 7 : Graphique bioclimatique, pour les habitants de la zone des États-Unis

Source : (Olgay, 1973, p.22)

- (Olgay, 1973) Les évaluations climatiques régionales de l'AIA (American Institute of Architect) en 1949 comportent des paramètres intéressants que nous pouvons voir dans les figures 8a et 8b. C'est aussi un ensemble d'indicateurs qui permet d'évaluer chacun des quatre régions analysées des États-Unis à travers les mois de l'année (Minneapolis-Minnesota ; New York-New Jersey ; Phoenix-Arizona ; et Miami-Florida). Il y a en premier l'analyse solaire qui évalue les heures de soleil en fonction des nuages et de la quantité moyenne de rayonnement solaire selon le fait qu'une région soit plus ensoleillée, moins ensoleillée, ou plus nuageuse qu'une autre. Puis, nous avons un autre indicateur qu'est l'analyse du vent dans toute sa globalité que ça soit en termes de direction, de vitesse, ou de présence de tempête ou pas. Il y a ensuite l'analyse de précipitation avec non-seulement les taux de précipitation de la pluie, mais aussi de la neige, du brouillard etc. Finalement, nous avons l'analyse de l'humidité (pourcentage par heure de l'humidité relative) ainsi que l'analyse thermique (distribution des températures par heure). Avec cet ensemble d'indicateurs, l'auteur effectue une évaluation de quatre régions, qui représentent les 4 différentes zones climatiques des États-Unis grâce à « la carte bioclimatique » dans le but de repérer leurs besoins bioclimatiques. Il démontre à travers les différentes analyses qu'il y a une relation entre les conditions de confort d'une maison et la situation météorologique. Nous pourrions connaître l'élément climatique qui peut équilibrer les sensations de confort (à quelle heure et avec quelle intensité) avec des dispositifs architecturaux ou urbains (orientation, tailles et dispositions des ouvertures solaires, ventilation etc.). Néanmoins, il faut noter qu'il y a certaines limites car les contraintes naturelles peuvent être plus grandes ou les besoins bioclimatiques peuvent être indisponibles tout simplement. (Olgay, 1973)



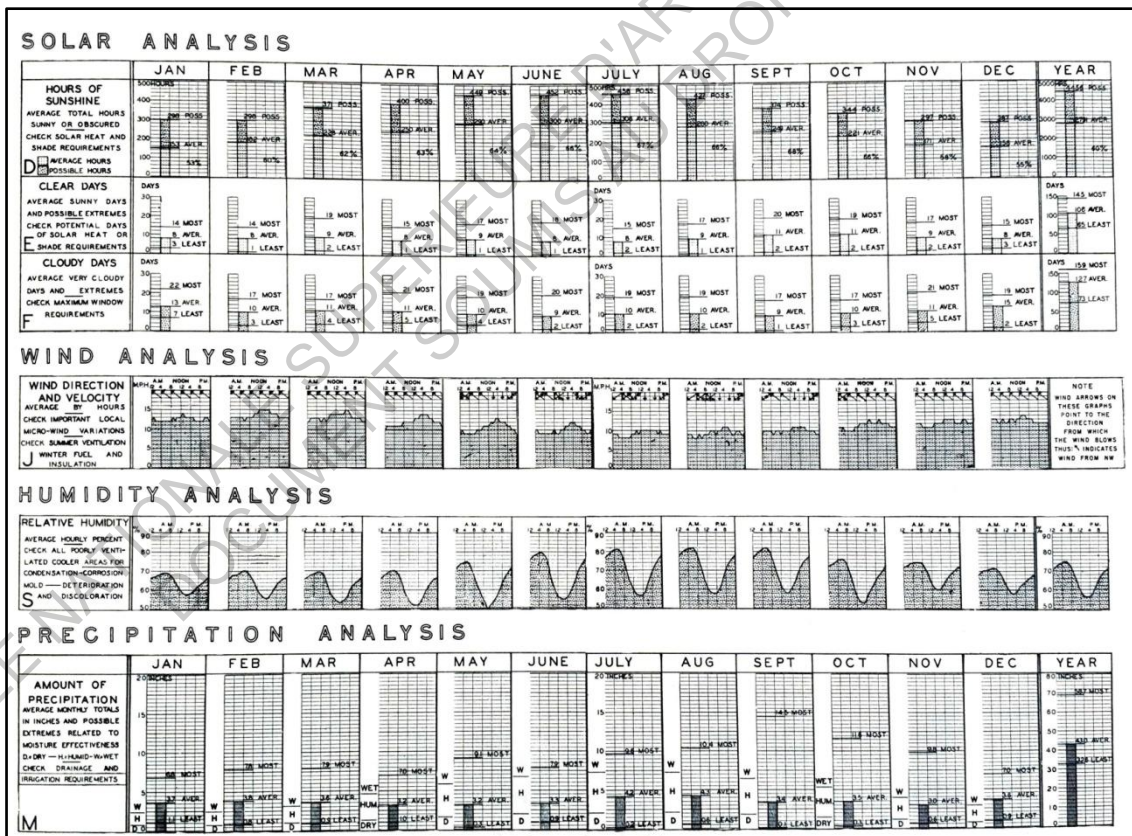
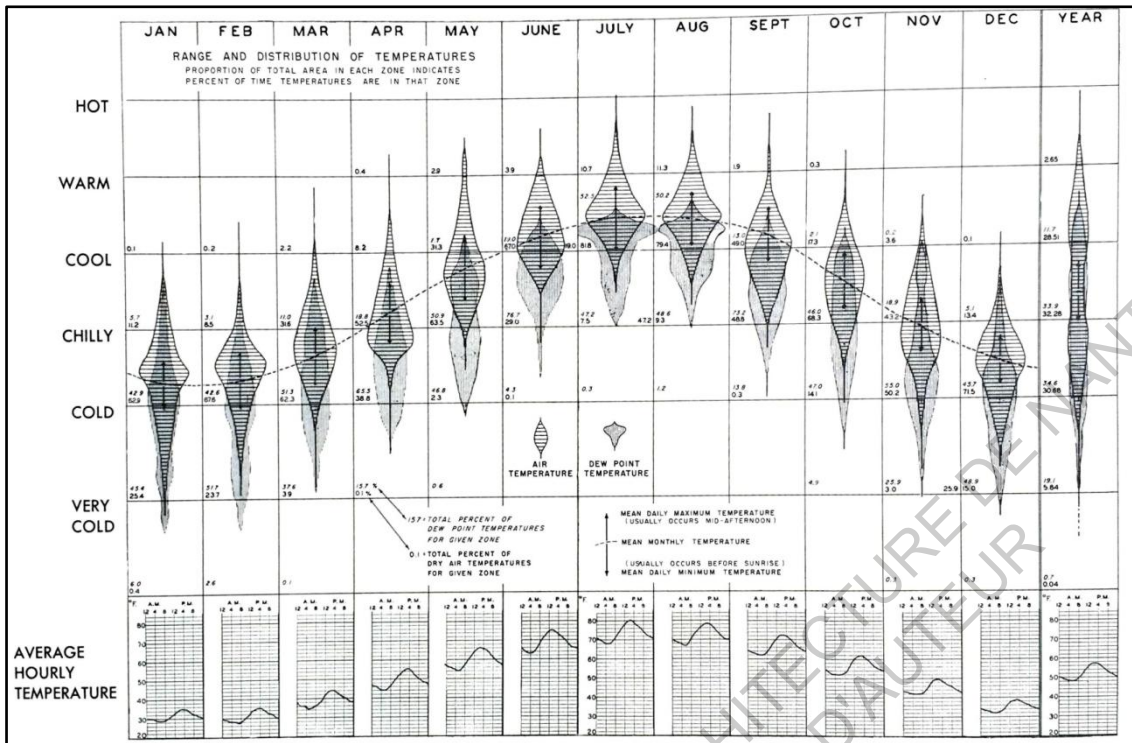
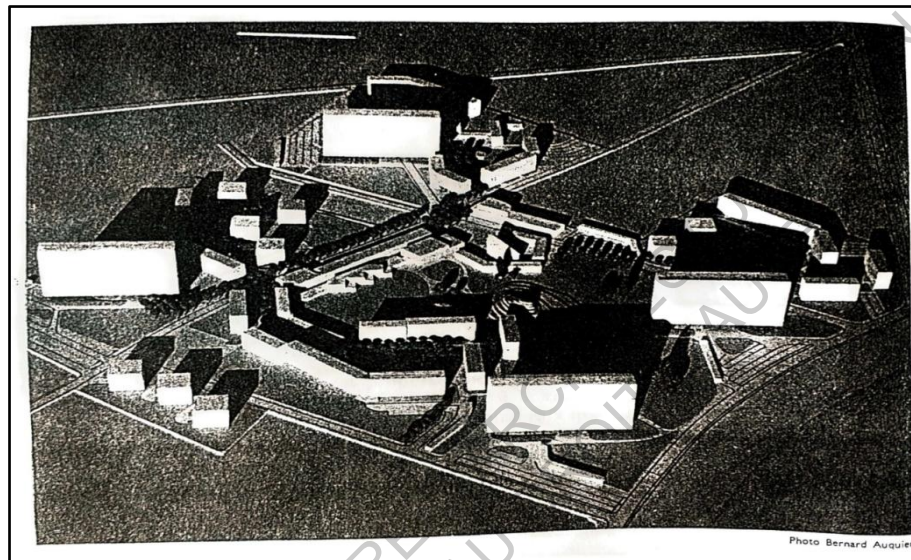


Figure 8a et 8b : Analyses climatiques régionales pour la région métropolitaine de New York et du New Jersey

Source : (Olgay, 1973, p.24-25)

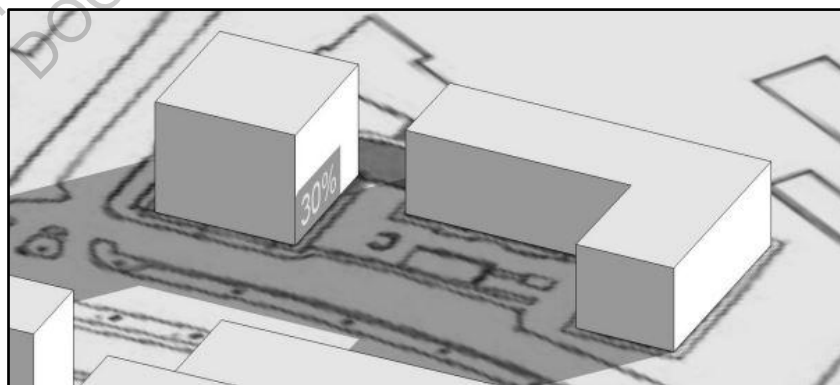
- (Dourgnon et al, 1961) Dans cet ouvrage, nous soulignons un autre indicateur qualitatif dans la captation solaire qu'est le pourcentage d'ombre portée sur un bâtiment, pouvant influencer sur le taux de l'apport solaire. C'est dans cette intention que les tracés d'ombres ont d'ores et déjà été étudiés dans les années 1960 à travers plusieurs techniques comme l'emploi des maquettes (voir figure 9), des procédés graphiques ou encore des procédés mécaniques. Les auteurs ont pu étudier l'impact des ombres portées car elles ont évidemment une influence sur l'apport solaire moyen reçu par les bâtiments.



**Figure 9** : Photographie d'une maquette montée sur Héliodion - Ensoleillement à 16h15 le jour de l'équinoxe - Projet d'un ensemble d'immeubles à Thiais, Loiseau et Tribel architectes

**Source** : (Dourgnon et al, 1961, p.12)

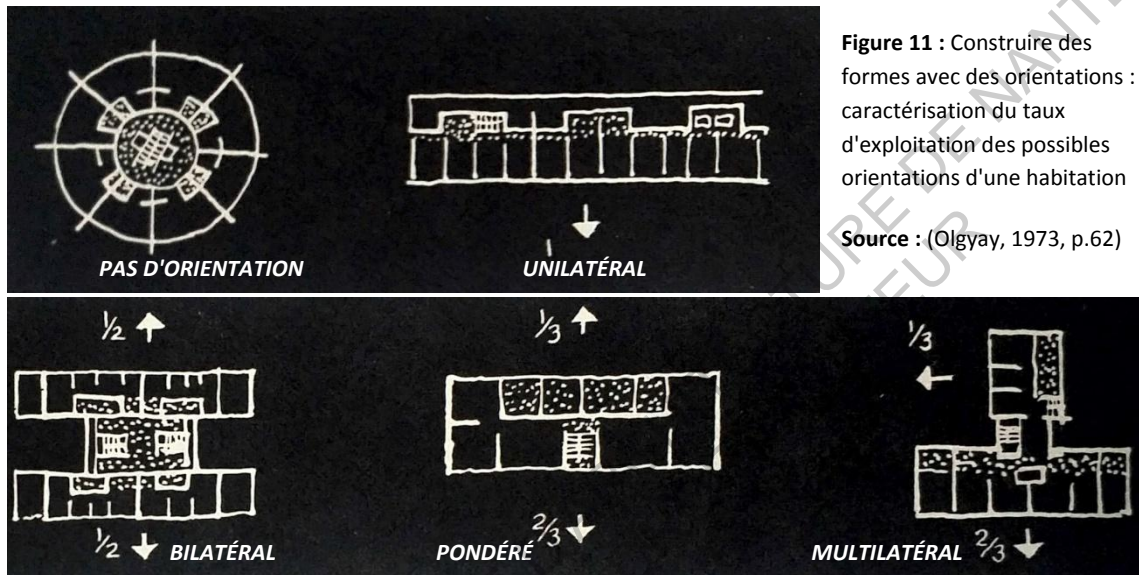
- El Alami (2017) établit un pourcentage de masque, le 21 Décembre à 12h. Ce pourcentage correspondant à la surface de l'ombre portée ou de l'ombre propre (simulée le 21 Décembre à 12h à l'aide du plug-in T4SU sur le logiciel SketchUp) sur la façade par rapport à la surface totale de la même façade (figure 10).



**Figure 10** : Principe de calcul du pourcentage de masque d'une façade

**Source** : (El Alami, 2017, p.51)

- (Olgay, 1973) L'orientation d'un bâtiment affecte également les quantités de rayonnement solaire sur les différents côtés à des moments différents tout comme les différences entre les saisons sont dues aux différentes inclinaisons de l'axe de la Terre vers le soleil. L'indicateur du taux d'exploitation de l'orientation d'un bâtiment (figure 11) permet d'évaluer le taux d'orientation d'une habitation d'un point de vue morphologique.



- Olgay (1973) a adopté aussi une autre approche qu'est l'approche SOL-AIR. Toujours en termes d'orientation et de captation de l'apport solaire, elle sous-entend que le rayonnement SOLAire et la température de l'AIR interagissent ensemble pour produire une sensation de chaleur et maintenir les niveaux de température près de la "zone de confort". Son importance varie en fonction des régions et des saisons. Ainsi, avec une orientation optimale et dans des conditions de fraîcheur, le sur-rayonnement du bâtiment sera le bienvenu alors que dans des conditions de chaleurs excessives, l'orientation du bâtiment doit participer à la diminution des impacts solaires importuns.
- Toujours dans l'ouvrage d'Olgay (1973), il y a eu aussi des suggestions d'exposition-type des pièces intérieures des bâtiments résidentiels pour les latitudes supérieures à 35°. Ces propositions d'expositions sont illustrées dans la figure 12 de Jeffrey E. Aronin ci-dessous :

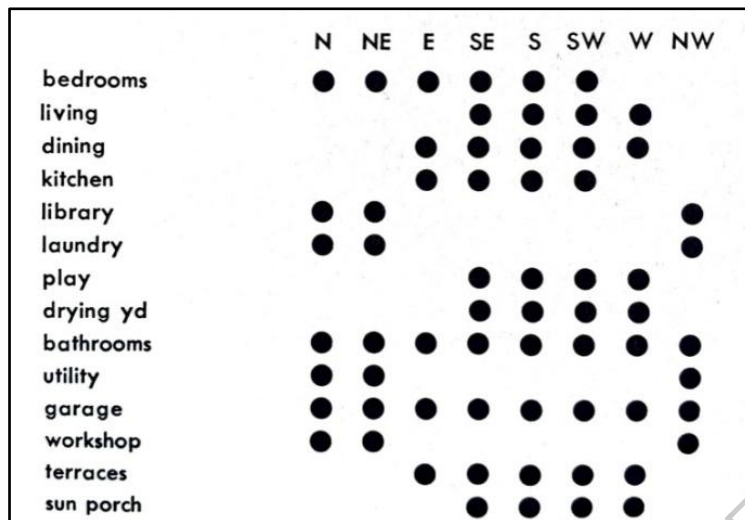
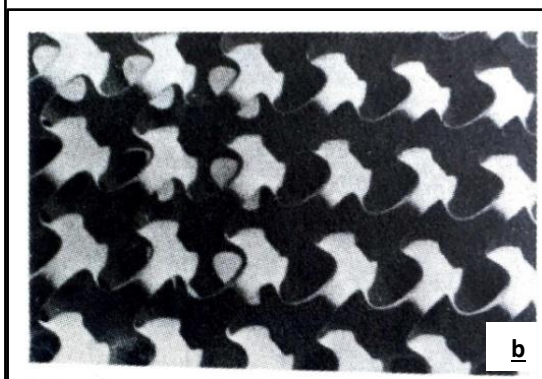
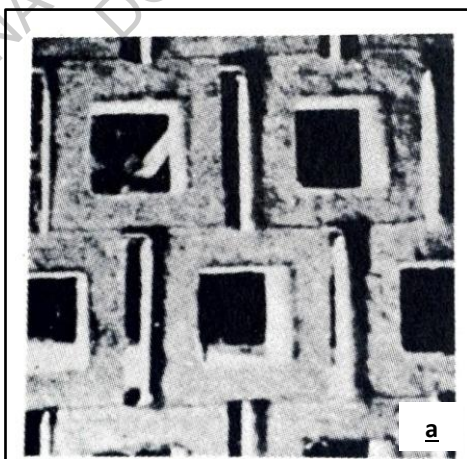


Figure 12 : Suggestions d'orientation solaire pour les pièces

Source : (Olgay, 1973, p.62)

- Olgay (1973) évoque aussi l'impact des dispositifs de contrôles solaires qui modifient les quantités de rayonnement solaire (par exemple les loggias, balcons, coursives etc.). Il compare dans son ouvrage, différents dispositifs d'ombrage qui augmentent les performances de contrôles solaires en fonction des saisons et des besoins bioclimatiques. Ils peuvent fournir l'ombrage nécessaire l'été et contribuer aux gains d'énergies l'hiver. Pour qu'un dispositif de ce genre soit efficace, il faut le concevoir en fonction de l'emplacement, de la latitude et de l'orientation de la façade. Il peut aussi servir d'expression architecturale et imposer une forte spécificité spatiale. Ainsi, il analyse différents types de dispositif d'ombrage : l'exemple du modèle de la figure 13a qui tient compte du mouvement de l'air, ou de la figure 13b qui offre une variation rythmée de l'ambiance lumineuse. Il est possible de combiner ces éléments avec les balcons (figure 13c) pour un effet d'ombrage optimal, ou pour créer une profondeur double (figure 13d). Ces choix diversifiés dépendent en majeure partie de la force et de la hauteur du soleil.



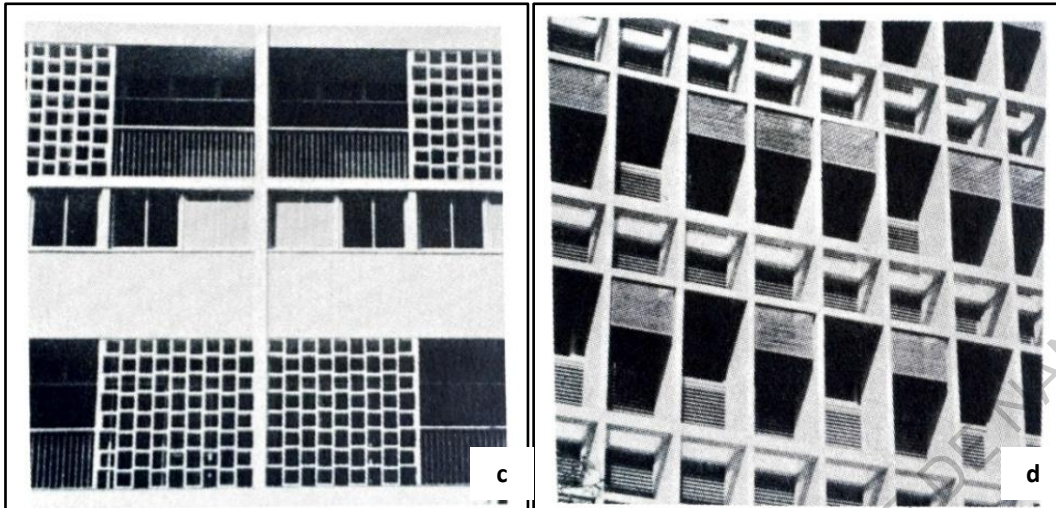


Figure 13. a/b/c/d : Différents modèles de dispositifs de contrôle solaire

Source : (Olgay, 1973, p.64-65)

- (Olgay, 1973) Quant à l'efficacité de la protection solaire sur les ouvertures vitrées, elle pourrait dépendre de trois facteurs :
  - le matériau utilisé et sa texture (sombre, moyenne ou claire),
  - son emplacement (avant, sur, ou après l'ouverture vitrée). Sachant qu'une protection extérieure était jugée dans les années 1960, 35% plus efficace qu'une protection intérieure.
  - et la méthode de disposition appliquée.

L'auteur évalue cette efficacité grâce à un coefficient d'ombrage qui varie entre 0,10 et 1 (figure 14) en fonction des trois paramètres cités précédemment. Un vitrage sans protection solaire correspondrait à un coefficient de 1 tandis qu'un vitrage avec une protection maximale aurait un coefficient égal à 0,10. Ces dispositifs de protection solaire sont aussi un réel gain économique s'ils sont bien conçus. Il l'a démontré à travers une méthode de comparaison entre le coût de climatisation d'un bâtiment sans dispositif d'ombrage et le coût du dispositif lui-même. Cependant, cette économie dépend fortement de la taille et du type de chaque bâtiment. Les arbres forment aussi des bons dispositifs naturels de protection solaire. En plus d'embellir l'environnement immédiat, ils sont jugés comme bénéfiques pour une bonne performance thermique du bâtiment. Il faut noter cependant que tout cela dépendra du type d'arbre choisi (forme et caractère), et donc une réflexion s'impose lors de la conception.

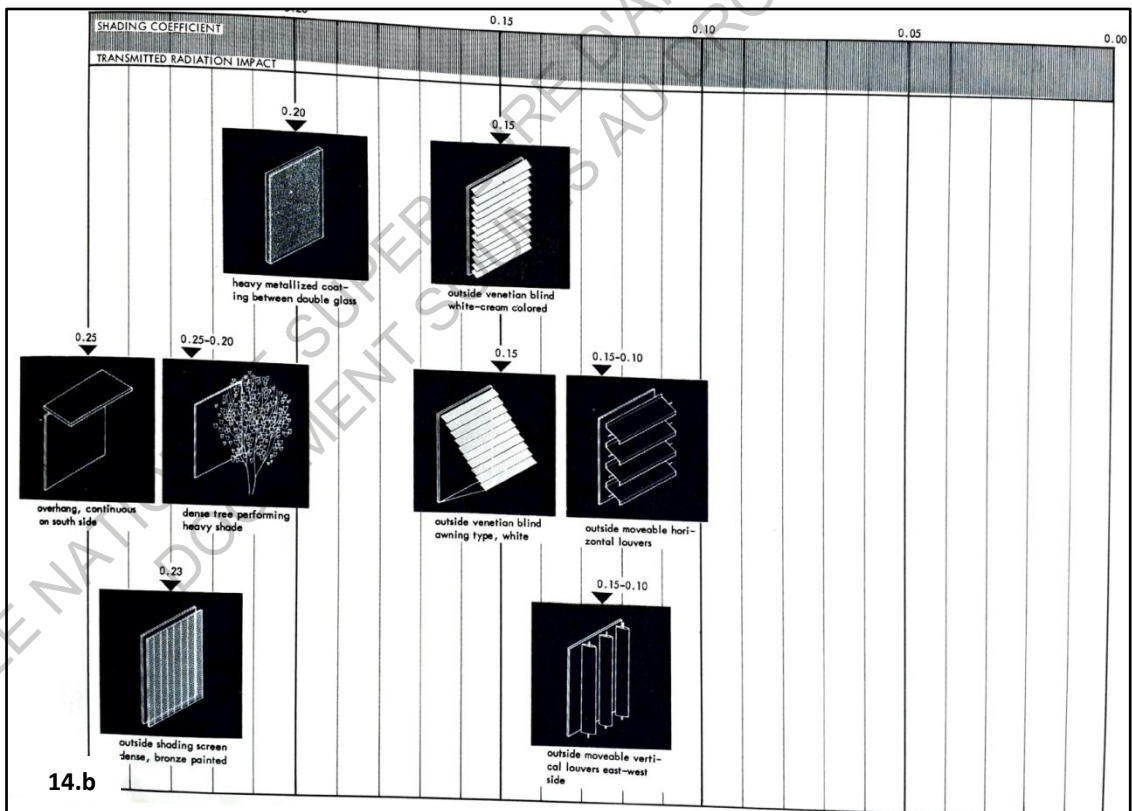
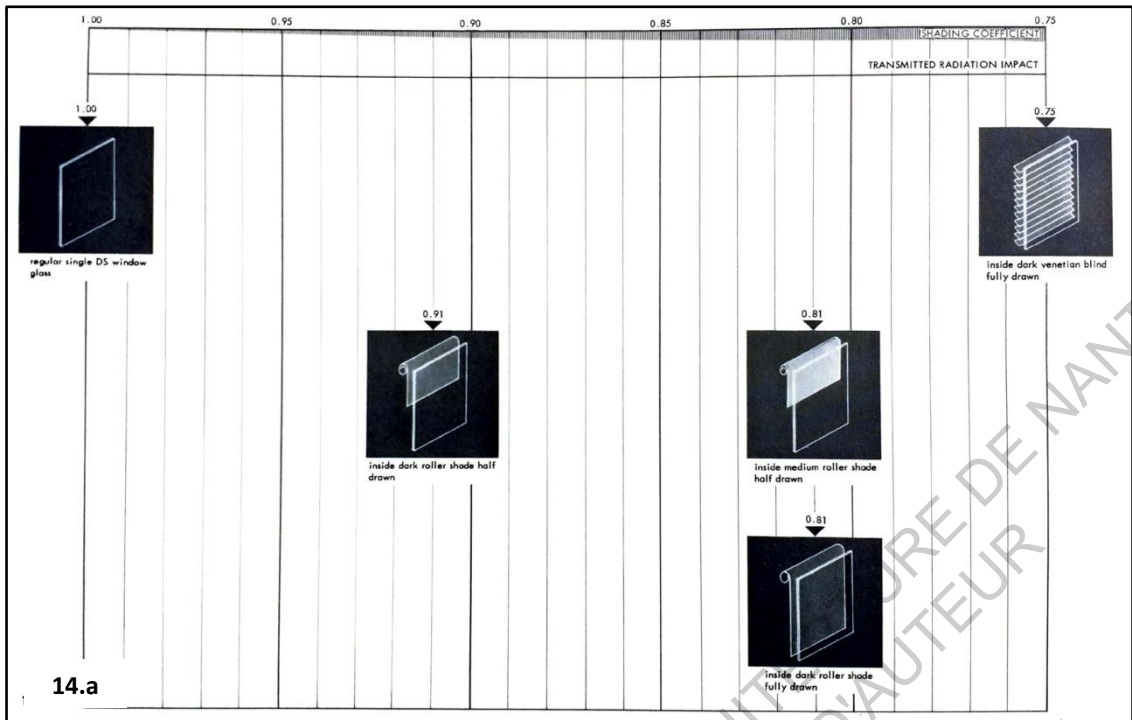


Figure 14 a/b : Extrait du diagramme de coefficient d'ombrage

Source : (Olgyay, 1973, p.68-71)

- L'objectif du rapport final de recherche ADEQUA (Musy et al, 2006) étant de suggérer une méthodologie lors de la réalisation d'un quartier, nous allons évoquer les indicateurs qui ont été utilisés dans le but d'évaluer les différentes façons de capter l'apport solaire. Il y a dans un premier temps, l'indicateur d'orientation sud et ouest des façades  $I_s$  ( $I_o$ ) (Musy et al, 2006, p.20) qui est la mesure d'une exposition préférentielle vers le Sud (Ouest) des constructions. C'est le rapport de la surface projetée de la façade sud avec la surface projetée totale de l'ensemble des façades. Il nous permet de mesurer l'exposition sud des bâtiments dans un projet donnée et d'évaluer donc une exposition solaire favorable et des potentialités énergétiques maximales. Elle doit être combinée avec des dispositifs architecturaux en fonction des saisons.

Calcul :  $I_s$  (indicateur d'orientation sud) est évalué comme le taux de façades exposé vers le sud. Un projet urbain constitué uniquement de bâtiments linéiques de direction est-ouest (exposition Nord-Sud des façades) aurait alors un taux d'exposition sud de 50%.  $I_o$  (indicateur d'orientation ouest) est évalué comme le taux de façades exposé vers l'ouest.

$I_s$ ( $I_o$ ) =	Taux de façades exposé vers le sud (vers l'ouest pour $I_o$ )
-------------------	---

- Indicateur de captage solaire et indicateur de performance solaire (Musy et al, 2006, p.20): Ils peuvent être associés à l'indice  $I_s$ , et qui mesure les potentialités solaire du projet. Compris entre 0 et 1, c'est le rapport entre la moyenne de l'énergie directe incidente reçue par les surfaces verticales avec le flux solaire incident moyen calculé sur les façades du bâtiment de référence Nord-Sud. Les effets de masques générés par les bâtiments entre eux peuvent réduire cette potentialité énergétique. Dans cet indice aussi, il sera indispensable de prévoir des dispositifs de protections solaires dans les situations critiques. Néanmoins, cet indice ne prend pas en compte le facteur de performance du vitrage et les réflexions générées par les façades.

Calcul : L'indice de captage solaire ( $I_c$ ) quantifie la potentialité solaire du projet en référence à une configuration urbaine équivalente constituée de bâtiments exposés au sud sans effet de masque dont l'indice vaudrait 100%. En hiver, l'indice généralement inférieur à 100% exprime la capacité de l'urbanisation à récupérer par ses façades l'énergie solaire. En été, les valeurs généralement supérieures à 100% permettent de se rendre compte de la performance du projet vis-à-vis de la protection solaire.

$I_c$ =	Énergie solaire directe incidente journalière ( $Wh/m^2$ ) reçue par les bâtiments du projet
	Énergie solaire directe incidente journalière ( $Wh/m^2$ ) reçue par le bâtiment référence

L'indicateur de performance solaire ( $I_m$ ) exprime quant à lui l'incidence des effets de masque du projet sur la performance solaire du projet en hiver et sur l'effet de protection qu'elle apporte au contraire en été. Il évalue les effets de masques sur le potentiel énergétique des bâtiments. Plus l'indice est proche de 0 et plus ces effets sont importants. A l'inverse, des valeurs proches de 1 signifient que les bâtiments reçoivent le maximum d'énergie sans effets de masques générés.

$I_m =$	Énergie solaire directe incidente journalière avec masque (Wh/m <sup>2</sup> )
	Énergie solaire directe incidente journalière sans masque (Wh/m <sup>2</sup> )

- Potentiel d'apport solaire par m<sup>2</sup> de plancher (Musy et al, 2006, p.21):  
Calcul : Ce potentiel en Wh/m<sup>2</sup> représente l'énergie directe incidente moyenne journalière rapportée au m<sup>2</sup> de plancher.

$P_c =$	MOY (Énergie solaire directe incidente théorique journalière Moyenne reçue par l'ensemble des façades enveloppes verticales du projet Wh/m <sup>2</sup> )	Surface totale des enveloppes des bâtiments du projet (m <sup>2</sup> )
		Surface cumulée de plancher en m <sup>2</sup> (étages compris)

- (Musy et al, 2006, p.24) l'indice D (Durée d'ensoleillement) qui permet d'avoir des champs de valeurs d'ensoleillement utiles à la localisation de zones plus ou moins confortables entre les bâtiments pour créer des espaces de détente.  
Calcul : D s'exprime en minutes et se définit comme la durée pendant laquelle un élément de surface du sol reçoit directement les rayons du soleil. Il est plus intéressant de calculer la durée moyenne d'ensoleillement ou la moyenne des durées d'ensoleillement pondérées.

$D \text{ (min)} =$	Durée pendant laquelle un élément de surface du sol reçoit directement les rayons du soleil
---------------------	---

#### DEPERDITION D'ENERGIE

- En termes de morphologie et dans le but d'éviter les déperditions énergétiques, il convient de souligner que dès les années 1960, des études ont été entreprises (principalement par Olgyay, 1973) dans le but de suggérer un indicateur de forme



optimale d'un bâtiment donné en fonction de son environnement. Ces études ont révélé que "la forme carrée considérée comme optimale, ne l'est pas pour n'importe quelle latitude. Les formes rectangulaires allongées sur l'axe Nord-sud sont moins efficaces que le carré. Enfin, la meilleure forme optimale resterait rectangulaire mais allongé sur un axe est-ouest" (Olgay, 1973). Il faut garder à l'esprit que ces études ont porté sur quatre différentes zones climatiques des États-Unis. Cela n'empêche pas de constater que certains architectes en France se préoccupaient déjà de cette corrélation entre la forme et l'orientation des bâtiments.

- A part la faculté de capter le flux d'énergie, le vitrage associé aux dispositifs architecturaux qui le constituent, peut présenter un possible potentiel de déperdition. Cet élément en corrélation avec la compacité du bâtiment peut entraîner (si cette dernière est faible) une multiplication des effets externes et favoriser la déperdition de l'énergie accumulé. C'est pour cette raison qu'un bâtiment compact a tendance à mieux conserver son énergie qu'un autre moins compact. Nous introduisons dans cette optique l'indicateur de compacité C (Musy et al, 2006, p.24) qui exprime le rapport de la surface cumulée de l'enveloppe des bâtiments avec la surface cumulée des planchers. Il mesure la surface d'échange entre l'intérieur et l'environnement extérieur. Plus C est bas, plus les bâtiments sont compacts et moins ils réagissent avec l'environnement extérieur. Un bâtiment avec un indice C faible, donc compact, a donc une surface de déperdition réduite qui peut aboutir à une diminution de la consommation du chauffage en hiver.

C =	Surface cumulée de l'enveloppe des bâtiments (m <sup>2</sup> )
	Surface cumulée des planchers (m <sup>2</sup> )

#### INERTIE

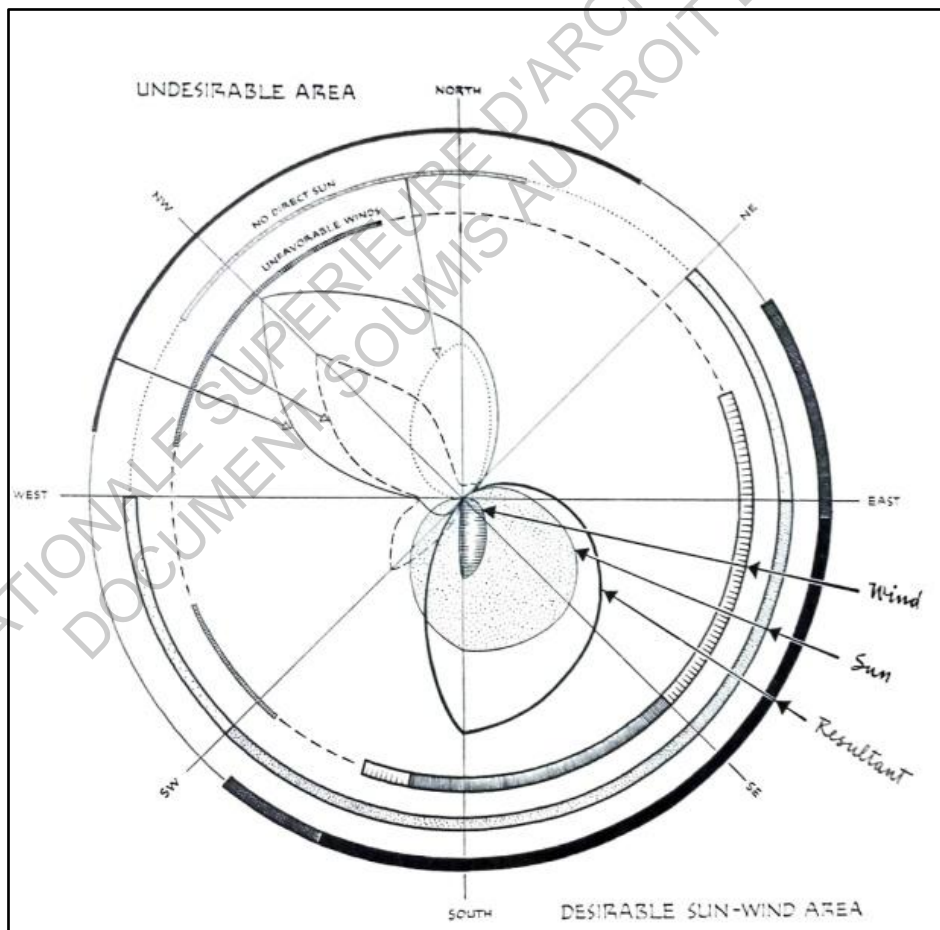
- La peau d'un bâtiment est un filtre entre les conditions intérieures et extérieures. Elle permet de contrôler l'apport d'air, de froid, de chaleur, de son, d'odeur et de lumière. Ainsi, les matériaux qui la composent, jouent un rôle essentiel et contribuent aux contrôles de l'énergie solaire.

Les matériaux utilisés dans le cadre d'un bâtiment donné peuvent contribuer favorablement à l'équilibre thermique au sein du bâtiment. Nous constatons à travers les études d'Olgay (1973) que si les principes de captage et de stockage sont mis en œuvre, nous pouvons bénéficier par exemple, pour l'hiver d'une restitution naturelle de chaleur pendant la nuit mais cela dépend fortement de la latitude du projet et de la solution constructive.

## VENTILATION NATURELLE TRAVERSANTE

- Le vent et l'architecture sont étroitement liés. A travers le monde, nous pouvons observer des expressions architecturales qui résultent en majorité des conditions du vent sur chaque partie du globe terrestre. Ainsi, il peut être bénéfique (et participer au bioclimatisme du bâtiment) comme il peut être nuisible (il faudrait s'en protéger dans ce cas), et donc les conceptions doivent s'y adapter dans tous les cas. Pour les bâtiments bas, comme pour ceux de plusieurs étages comme les hauts immeubles de bureaux, d'hôpitaux ou de logements, il est très important d'étudier l'orientation au vent lors de la conception (Olgay, 1973). La vitesse et la température des vents doivent être analysées à chaque direction.

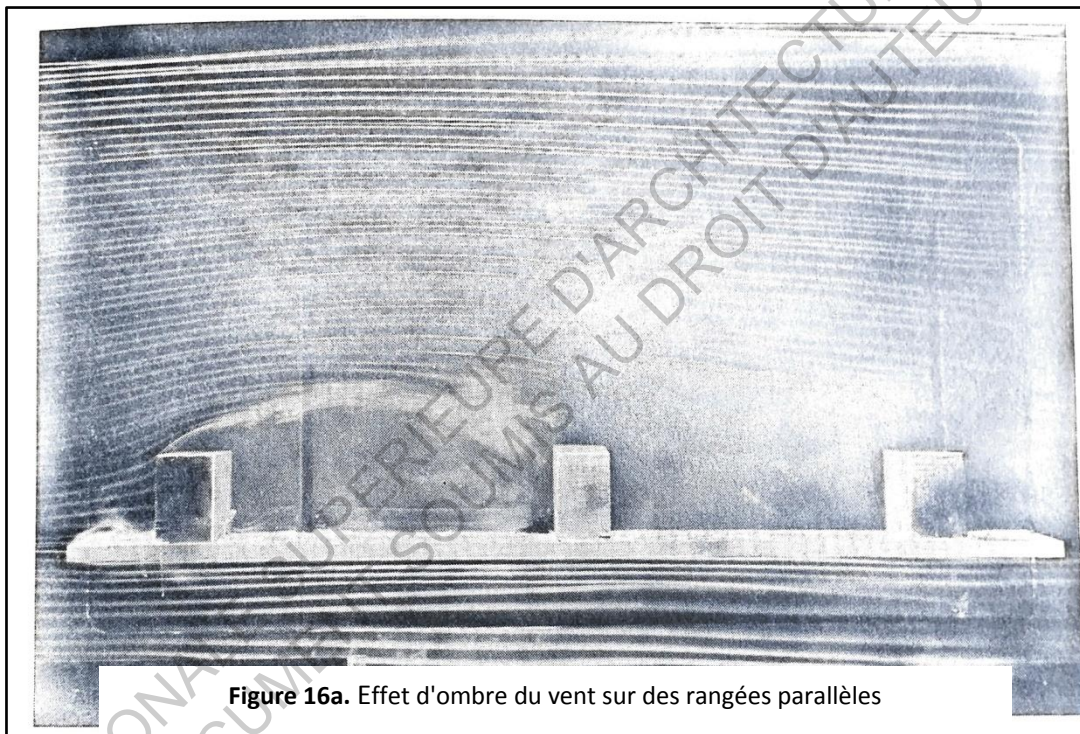
Olgay (1973, p.97) démontre à travers une étude du rapport entre le vent et le soleil que l'orientation optimale par rapport au vent peut être liée à celle du soleil comme représenté dans la figure 15 ci-dessous. Nous pouvons constater dans l'orientation synoptique de Baltimore que l'effet du vent est nettement lié à celui du soleil pour trois types de bâtiments différents.

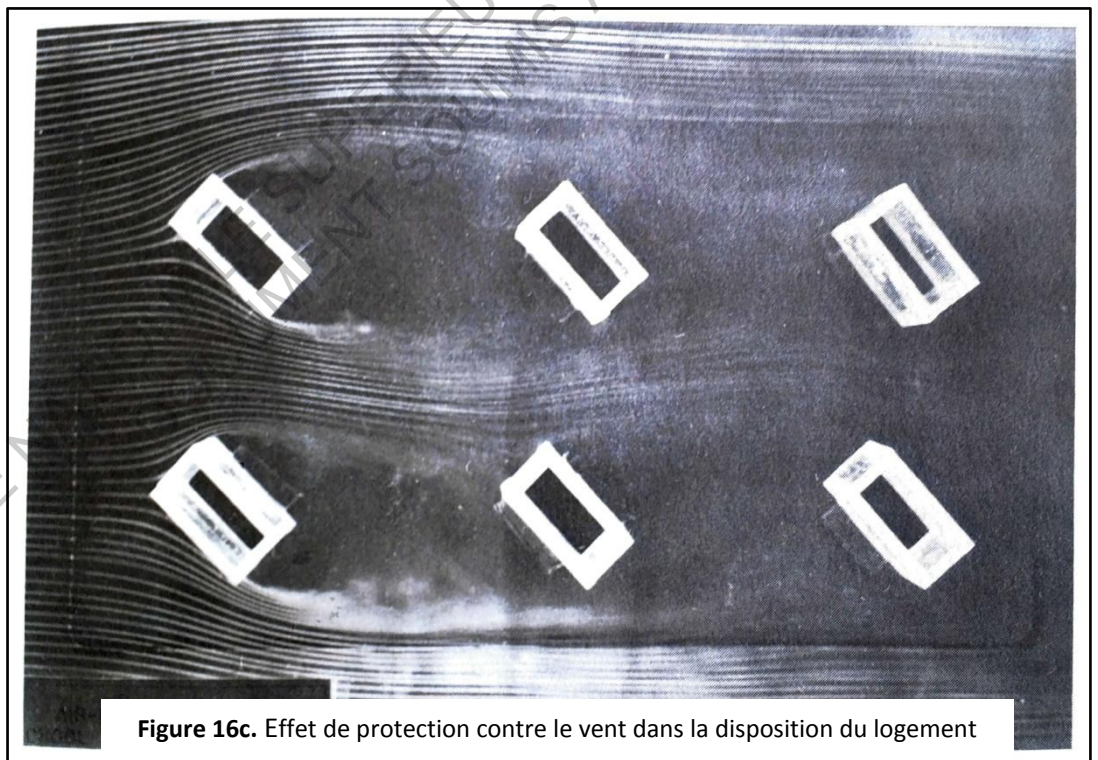
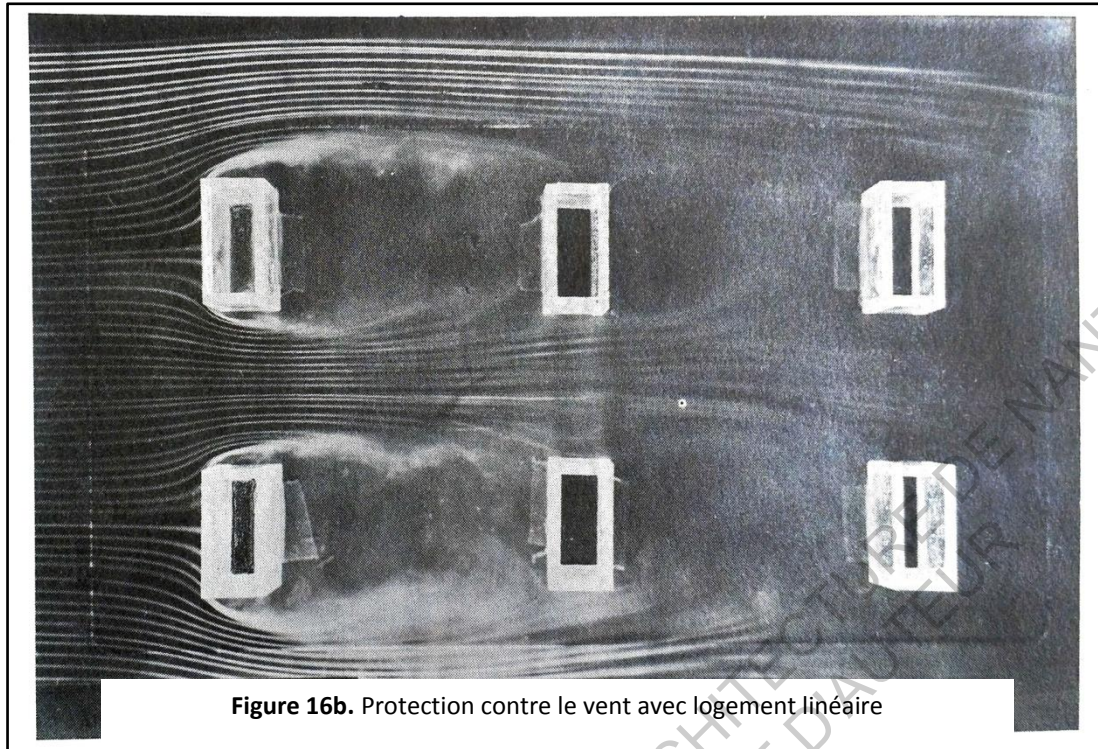


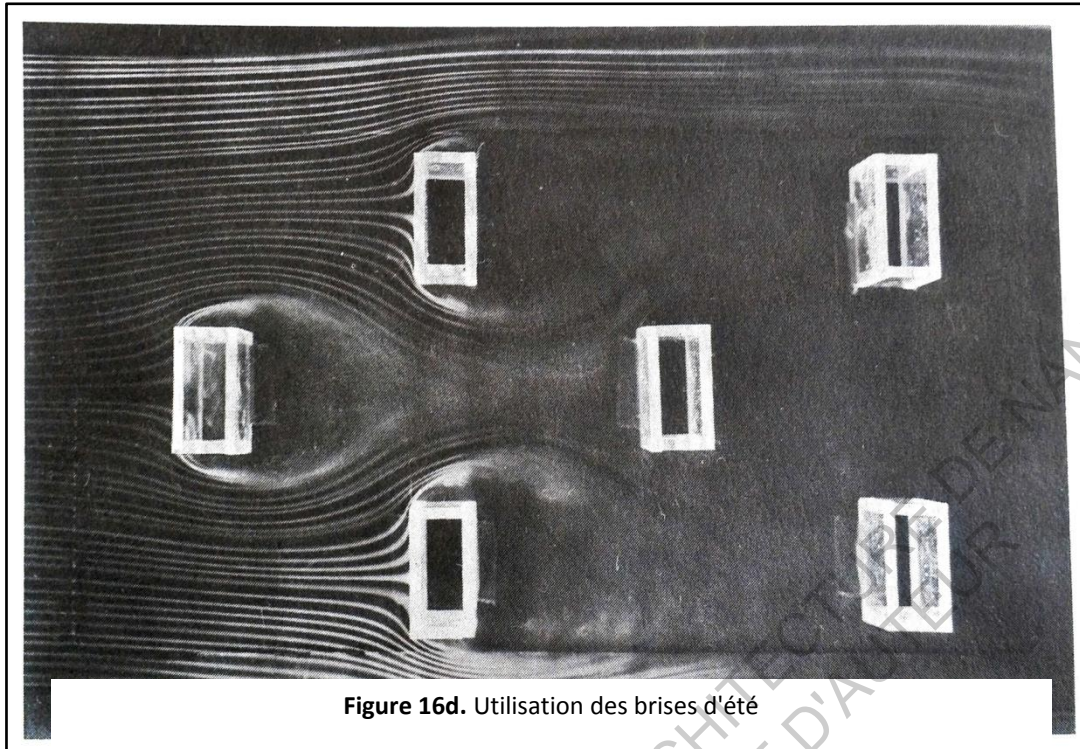
**Figure 15 :** L'orientation synoptique de Baltimore

Source : (Olgay, 1973, p. 97)

- En ce qui concerne, les dispositifs de protection au vent (pour le vent nuisible au bâtiment), Olgyay recommande l'utilisation d'abrивent. La conception de ce dernier résulte de l'étude de la vitesse du vent, de son impact global et de la zone à protéger. D'après les analyses de N. P. Woodruff (sur quatre types d'abrивent y compris les arbres), il s'avère que la réduction de vitesse par ces abrивents est négligeable et qu'il s'agit d'une erreur architecturale non seulement pour les potentialités bioclimatiques du bâtiment mais aussi pour les conditions de confort de l'air. Néanmoins, un bâtiment exposé perpendiculairement à la direction du vent, le reçoit à pleine vitesse tandis qu'un bâtiment exposé à 45° réduit la vitesse du vent de 50 à 60% (figure 16). Nous pouvons constater que la protection face au vent peut être renforcée soit par le positionnement du bâtiment, soit par un abrивent même si ce dernier est très critiqué.





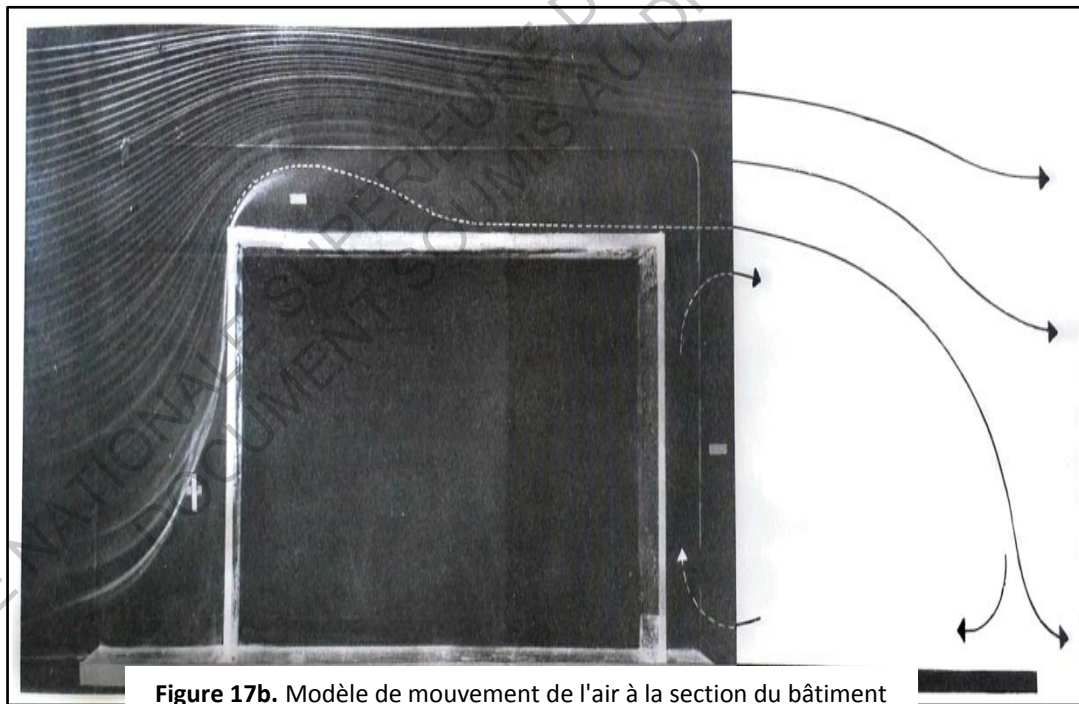
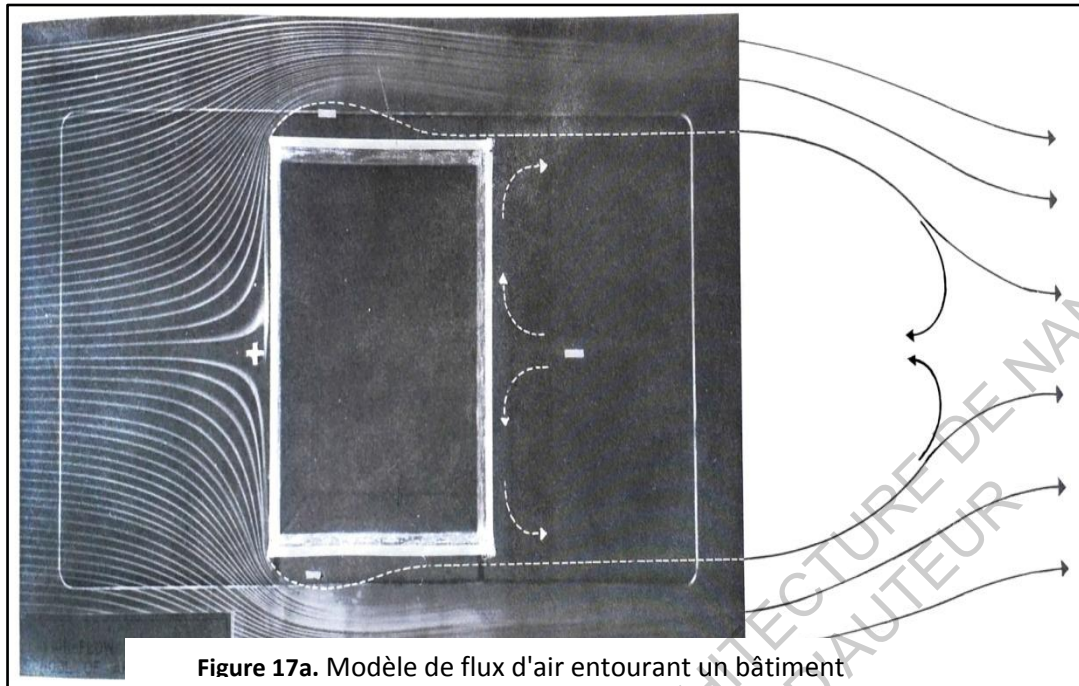


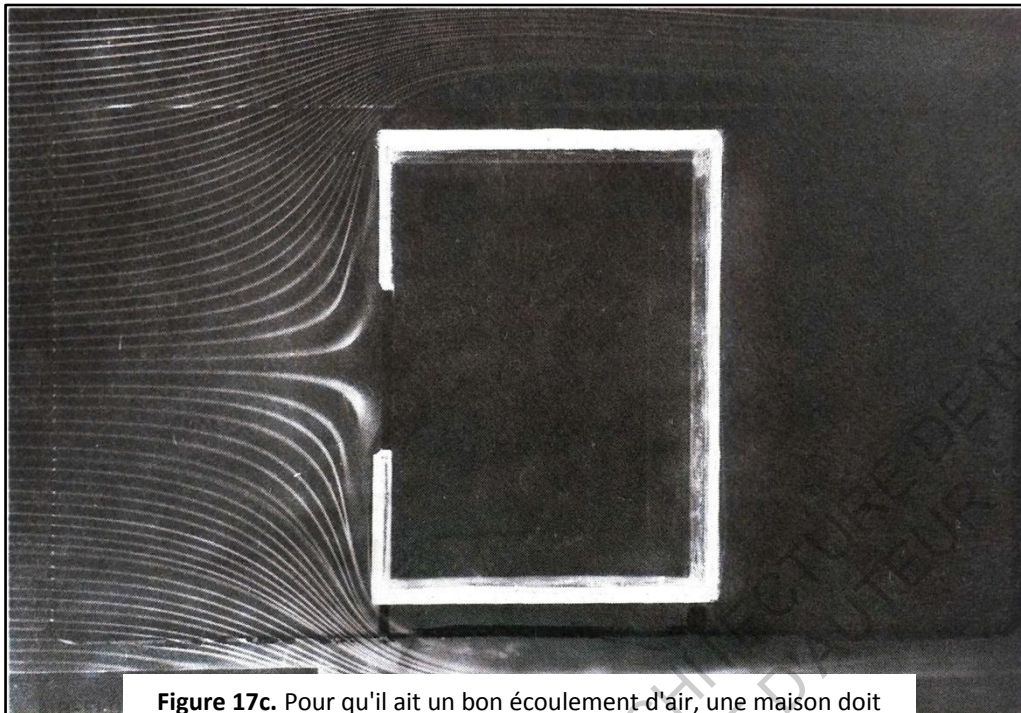
**Figure 16d.** Utilisation des brises d'été

**Figure 16.** a/b/c/d

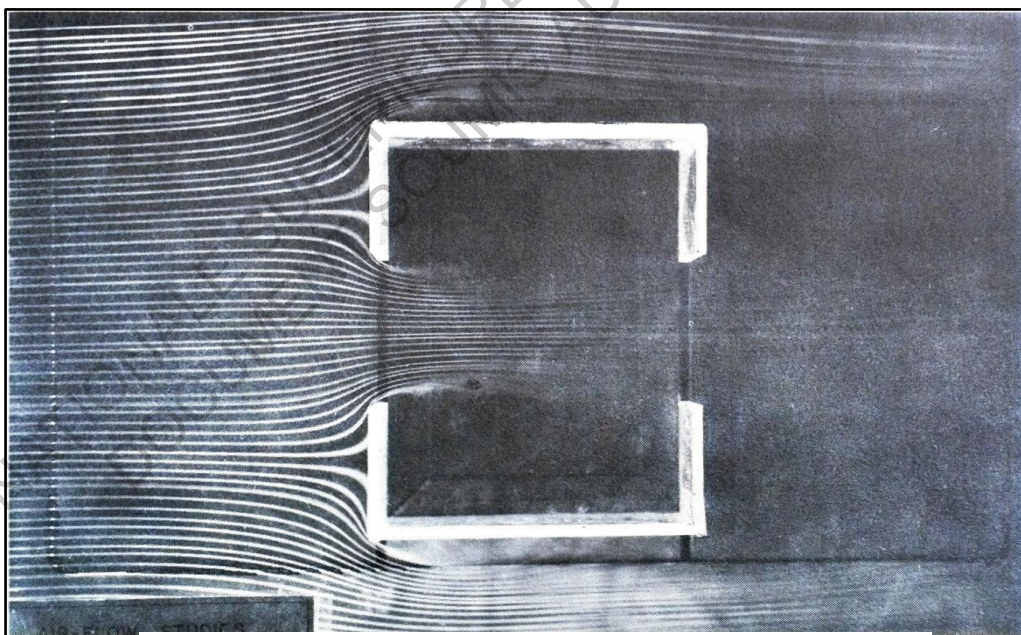
Source : (Olgay, 1973, p. 101)

- Olgay a étudié également plusieurs cas de figure d'écoulement d'air à travers des modèles intérieurs de bâtiments en plan et en coupe (figure 17). Les forces à l'origine de la ventilation naturelle sont classées en deux : le changement d'air causé par la différence de température et le mouvement d'air produit par la différence de pressions. Et donc, la ventilation naturelle d'un bâtiment donnée peut être renforcée par son orientation (pas nécessairement perpendiculaire au vent), l'utilisation de bordures (petites casquettes face au vent) pour générer des zones de surpression et de dépression, et le positionnement des entrées d'air. C'est la raison pour laquelle nous allons nous intéresser aussi à la configuration intérieure des appartements. Dans tous les cas, il est très important que la vitesse de l'air convienne aux exigences bioclimatiques du bâtiment en termes de température.





**Figure 17c.** Pour qu'il ait un bon écoulement d'air, une maison doit avoir à la fois des entrées d'air (de préférence lorsque la pression est positive) et des sorties d'air (sur les zones négatives). Ici, comme il n'y a pas de sortie d'air, aucun flux d'air ne se produit dans la maison



**Figure 17d.** Le débit d'air maximal se produit lorsque de grandes ouvertures de taille égale sont placées en face l'une de l'autre.

**Figure 17. a/b/c/d**

Source : (Olgay, 1973, p. 103-105)

- (Musy et al, 2006, p.26) L'indice Orientation des façades par rapport aux directions de vents dominants.

Calcul : L'évaluation de cet indicateur est similaire à celle des indicateurs d'orientation sud et ouest des façades utilisés pour l'ensoleillement. Il s'agit ici de prendre comme référence d'orientation les directions des vents dominants et les directions perpendiculaires.

- (Musy et al, 2006) Nous avons l'indice Vm (vitesse moyenne du vent dans le site) qui permet de déterminer l'aspect protégé ou exposé par rapport au vent du site. Cette vitesse se calcule grâce à la connaissance du champ de vitesse dans le site dans des conditions météorologiques spécifiques.

- (Musy et al, 2006, p.26) Il y a aussi l'indice Ds (densité surfacique urbaine) qui exprime le rapport entre l'emprise au sol des constructions et la surface du terrain dans lequel se situe le projet. Avec des valeurs comprises entre 0 et 1, il représente l'occupation au sol des bâtiments. Plus Ds est élevé, plus les bâtiments remplissent l'espace urbain. Nous pouvons à partir de là faire plusieurs interprétations quant à la ventilation du site (un peu plus représentative) ou les flux de chaleur.

Ds =	Surface d'emprise au sol des bâtiments (m <sup>2</sup> )
	Surface totale du site (m <sup>2</sup> )

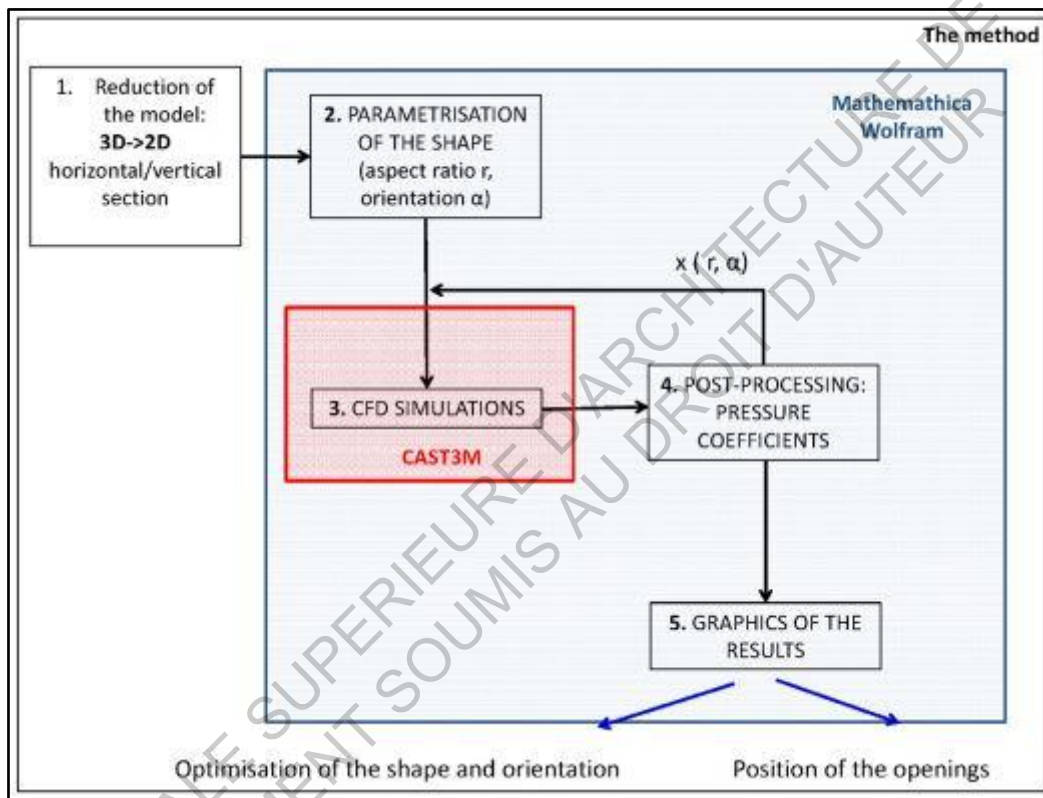
- (Musy et al, 2006, p.22) Toujours dans le rapport final de recherche ADEQUA, nous avons deux indicateurs qui définissent le caractère du vent dans le site. L'indice Dv (densité volumique urbaine) exprime le rapport du volume cumulé des bâtiments avec la surface du territoire urbain. Il permet de caractériser la volumétrie construite relative à la surface du territoire urbain étudié pour avoir une idée sur la ventilation du site (mais aussi les flux de chaleur). Il y a aussi l'indice Du (densité urbaine) qui exprime 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 Ds est fort, plus les constructions occupent le terrain naturel et remplissent l'espace urbain.

Dv =	Volume cumulé des bâtiments (m <sup>3</sup> )
	Surface du territoire urbain (m <sup>2</sup> )

Du =	Surface cumulée de l'emprise au sol des bâtiments (m <sup>2</sup> )
	Surface du territoire urbain (m <sup>2</sup> )



- (Ferrucci, 2017), (Ferrucci, M, et al. 2018) Ferrucci élabore deux types de diagrammes : un pour les bâtiments de type tour théoriquement et infiniment haut et un autre pour les bâtiments de type barre théoriquement et infiniment long. Et donc, à partir de la coupe d'un plan, elle étudie l'exposition de plusieurs côtés du bâtiment et des différentiels de pression. L'indice ratio  $L/l$  avec la direction du bâtiment nous donne une interprétation du vent d'après un tableau théorique de calcul différentiel de pression modélisé numériquement. Dans certaines configurations, nous pourrions trouver que les bâtiments favorisent ces différentiels de pression. Nous affichons le schéma méthodologique de l'étude (figure 18) car les diagrammes ne sont pas publiés officiellement pour l'instant.



**Figure 18.** Schéma conceptuel de la méthode

Source : (Ferrucci, M, et al. 2018, p.2)

## 3.2. Indicateurs relatifs à la captation de l'apport solaire (Hiver et Été)

Les indicateurs énoncés dans la partie précédente nous ont permis de recenser plusieurs paramètres intéressants pour l'élaboration de notre indicateur. C'est dans cette optique que la quantité d'irradiation solaire, la captation de l'apport solaire via le vitrage ou le pourcentage de masque des ombres portées sont primordiaux dans l'indicateur de captation que nous allons élaborer puisque ces paramètres n'ont pas été confrontés entre eux. Les indicateurs qui ont été mis en place dans le rapport ADEQUA (Musy et al. 2006) sont plus récents et plus appropriés à notre contexte que ceux d'Olgay (1973) et Dourgnon (1961).

Nous allons tenter évaluer grâce à l'indicateur que nous allons mettre en place, la capacité d'un bâtiment à capter les apports solaires aussi bien en hiver qu'en été. Pour l'hiver, il est important d'évaluer l'énergie solaire captée en vue d'identifier les bâtiments susceptibles d'en profiter. Tandis que pour l'été, l'objectif sera d'identifier les bâtiments qui peuvent présenter un risque de surchauffe. Par conséquent, ce premier indicateur se subdivise en deux indices distincts : un pour évaluer les apports solaires potentiels en hiver et un autre pour évaluer les risques potentiels de surchauffe en été. Dans tous les cas, ils sont liés essentiellement à la surface vitrée des façades et à leurs expositions.

Pour parvenir à cet indicateur, il s'agit de calculer dans un premier temps l'énergie moyenne reçue par chaque façade selon son inclinaison (90°) et son orientation. Pour cela, les valeurs (en kWh/m<sup>2</sup>/jour) ont été calculées grâce au logiciel CALSOL développé par l'institut national de l'énergie solaire (CalSol, 2018).

**CalSol** INES Education - Logiciel CALSOL - Gisement solaire estimation de l'énergie solaire disponible avec masque **ines** INSTITUT NATIONAL DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

Les résultats calculés par le présent logiciel sont donnés à titre indicatif et devront faire l'objet d'une étude les confirmant. En aucun cas, ils n'engagent la responsabilité de l'INES.

Choix de la ville : Paris le Bourget Prendre en compte un masque : non  
 Inclinaison du plan : verticale Orientation du plan : -15° Albédo du sol : 0.2  
 Cliquer ici pour valider votre choix et lancer les calculs

Irradiation sur un plan horizontal en kWh/m<sup>2</sup> par jour ou en kWh/m<sup>2</sup> cumulés Sources

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Globale (IGH)	0.87	1.52	2.88	3.92	5.01	5.59	5.33	4.44	3.38	1.98	0.99	0.72	3.06
Directe (IBH)	0.25	0.5	1.27	1.68	2.3	2.67	2.51	2	1.53	0.77	0.28	0.19	1.33
Diffuse (IDH)	0.62	1.02	1.61	2.24	2.71	2.92	2.82	2.44	1.85	1.21	0.71	0.53	1.73

Irradiation sur un plan d'inclinaison 90° et d'orientation -15°. Comparaisons

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Directe (IBP)	0.77	1.02	1.6	1.2	1	0.88	0.93	1.14	1.52	1.33	0.77	0.68	1.07
Diffuse (IDP)	0.31	0.51	0.8	1.12	1.35	1.46	1.41	1.22	0.92	0.61	0.35	0.26	0.86
Réfléchie (IRP)	0.09	0.15	0.29	0.39	0.5	0.56	0.53	0.44	0.34	0.2	0.1	0.07	0.31
Globale (IGP)	1.17	1.68	2.69	2.71	2.86	2.9	2.87	2.8	2.78	2.13	1.22	1.02	2.24

Inclinaisons et orientation optimum sur l'année et pour le mois le plus défavorable ( effectuer les calculs )  
 Irradiation solaire avec suivi 1 axe, 2 axes et direct 2 axes ( effectuer les calculs )

Figure 19 : Interface du Logiciel CALSOL

Source : (CalSol, 2018)

Afin de calculer les données sur l'irradiation solaire pour les différentes villes en France, le logiciel CALSOL s'appuie sur différentes sources de météorologie que l'on peut consulter directement depuis l'onglet "sources".

Nous pouvons voir à travers la capture d'écran sur la figure 19 un exemple pour une façade verticale située à Paris et orientée à  $-15^\circ$  (avec le Sud comme point de référence). La valeur qui nous intéresse est la moyenne/jour de l'Irradiation Globale du Plan (IGP) des 3 mois que nous avons pris comme la base de notre étude. Pour l'hiver, il s'agit des mois de décembre, janvier et février alors que pour l'été ce sont les mois de juin, juillet et août. Ces mois caractérisent le besoin en matière d'apport solaire en hiver et le risque de surchauffe potentiel en été.

Par la suite, nous avons multiplié cet apport solaire par la surface totale vitrée de chaque façade parce que c'est surtout le vitrage qui permet de capter le flux solaire. Cette surface sera pondérée par un coefficient de masque (des loggias/balcons/coursives) qui sera calculé pour les façades qui en disposent. En cas d'absence de loggia/balcon/coursive, ce coefficient est égal à 1 ; par conséquent le résultat de l'indicateur reste inchangé. Cependant, pour les façades qui en disposent, il est calculé grâce au logiciel CALSOL qui permet de dimensionner la casquette des différents types de dispositifs présents dans les bâtiments et leur pourcentage de masque. Nous différencierons l'hiver et l'été en raison des changements de hauteur du soleil qui influent sur les zones ombragées. Il faut noter que nous ne tenons pas compte des cas particuliers où les ombres sont très négligeables (exemple : un balcon sur la moitié d'un seul niveau, ou une coursive sur une partie non-vitrée de la façade).

Après cela, il suffit de faire la somme des quantités d'énergie moyenne/jour reçues par les surfaces vitrées de chaque façade pour trouver la quantité d'énergie moyenne/jour captée par le bâtiment.

L'indice absolu de captation du bâtiment que nous allons appeler C exprime donc la valeur de cette somme rapportée au  $m^2$  de plancher et se présente sous la forme suivante :

$$\text{Indice C absolu Hiver/Été (kWh/m}^2\text{/jour)} = \frac{\text{Apport solaire total du bâtiment (kWh/jour)}}{\text{Surface totale des planchers (m}^2\text{)}}$$

Avec l'apport solaire total du bâtiment qui est égal à la somme des apports solaires des façades à travers le vitrage et pour la saison correspondant (Hiver ou Été). La surface totale des planchers est égale au produit entre la surface d'emprise au sol et le nombre de niveau du bâtiment.

**Données nécessaires :** Le calcul de cet indicateur nécessite non seulement la connaissance de la volumétrie du bâtiment (pour les surfaces vitrées des façades) mais aussi celle de la surface interne du plancher. Et le plus important ici, c'est de connaître la

quantité moyenne d'énergie reçue par m<sup>2</sup> de surface vitrée ainsi que le pourcentage des éventuels masques.

**Principe de l'indice :** L'indicateur de captation constitue une mesure de l'énergie moyenne accumulée par le bâtiment. Il exprime la quantité d'énergie moyenne reçue par m<sup>2</sup> habitable d'un bâtiment à travers le vitrage. Plus l'indice C est élevé, et plus le bâtiment capte de l'énergie. Et a contrario, plus l'indice C est bas, plus le bâtiment capte peu d'énergie.

En d'autres termes, un bâtiment ayant plus de vitrage bien orienté, avec moins de protection solaire et moins de m<sup>2</sup> de planchers capte beaucoup mieux qu'un bâtiment avec des surfaces vitrées mal orientées, ayant plus de protection solaire ou plus de surface de planchers.

Cet indice C fonctionne bien pour les bâtiments type barre et plot mais pour les formes complexes qui engendrent des masques ou des ombres propres, nous allons pondérer les surfaces de vitrage par les pourcentages de masque respectifs comme mentionné dans le calcul de l'apport solaire par façade.

### 3.3. Indicateur relatif à la déperdition

Pour ce deuxième indicateur, nous allons tenir compte des paramètres énoncés dans l'état de l'art comme la compacité et le taux de vitrage (Musy et al. 2006) (Olgay, 1973). Le but sera de repérer les bâtiments qui perdent potentiellement de l'énergie à travers le vitrage. En d'autres termes, il permet d'évaluer le taux de déperdition potentiel d'un bâtiment. Pour cela, nous tenons compte du rapport entre la surface vitrée du bâtiment et le volume de ce dernier. En prenant en compte ce dernier paramètre, nous intégrons implicitement la compacité du bâtiment étudié dans notre indice puisque plus un bâtiment est compact, et moins il perd de l'énergie (Musy et al, 2006).

L'indice absolu de déperdition que nous allons appeler D et qui mesure le taux de déperdition potentiel du bâtiment se présente sous cette forme :

$$\text{Indice D absolu (m}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Surface totale vitrée (m}^2\text{)}}{\text{Volume (m}^3\text{)}}$$

La surface totale vitrée du bâtiment est égale à la somme des surfaces vitrées de ses façades et son volume est le produit entre la longueur, la largeur et la hauteur réelle (ou la hauteur estimée dans le cas échéant).

**Données nécessaires :** Le calcul de cet indicateur nécessite non seulement la connaissance de la volumétrie du bâtiment pour les surfaces vitrées des façades mais aussi ses cotes afin de calculer le volume.

**Principe de l'indice :** Cet indicateur est lié à l'enveloppe (en termes de vitrage) mais il n'est pas lié à l'orientation du bâtiment. Nous partons du principe que : plus il y aura du vitrage dans un bâtiment par rapport à son volume, plus il sera très déperditif, et plus l'indice D sera élevé car c'est à travers le vitrage que se dissipe en majorité l'énergie emmagasinée par le bâtiment.

Ce qui veut dire qu'un bâtiment disposant de beaucoup de surface vitrée pour un volume assez petit sera plus déperditif qu'un autre ayant moins de vitrage et plus de volume. Cela veut dire également que la compacité joue un rôle ; plus le bâtiment sera compact et plus le rapport entre la surface vitrée de son enveloppe et son volume sera bas.

### 3.4. Indicateur relatif à l'inertie thermique

Nous allons évaluer grâce à cet indicateur la capacité d'un bâtiment à absorber, stocker et à restituer progressivement le flux de chaleur emmagasiné en fonction des changements des conditions ambiantes. Cette capacité d'inertie thermique dépend de la masse du bâtiment et des matériaux qui le composent. En ce sens, nous nous sommes concentrés sur le rapport de la masse du bâtiment avec son volume ; et donc la masse volumique du bâtiment.

Pour parvenir à cet indicateur, il a été nécessaire de trouver la composition des parois verticales du bâtiment et plus précisément la typologie constructive des façades afin de définir la solution constructive dominante des façades de chaque bâtiment d'abord. Ensuite, nous nous sommes appuyés sur les revues d'architecture de chaque projet afin de déterminer la spécificité des solutions constructives de chaque projet. Nous prenons en compte le béton pour les parois verticales légères et le béton armé pour les parois verticales lourdes intérieures et les planchers quand les matériaux ne sont pas connus.

La masse du bâtiment est donc calculée en fonction de la masse volumique de chaque paroi verticale que nous avons déterminés grâce à un catalogue (Fernandez, Lavigne, 2009). Pour cela, nous définissons en avance le volume total des parois verticales lourdes intérieures (en m<sup>3</sup>) qui correspond au produit entre le linéaire des parois verticales lourdes intérieures (estimées grâce aux plans de niveaux), la hauteur estimée de l'immeuble et une épaisseur moyenne de 0,25m évaluée à l'aide des plans de niveaux et des revues d'architecture. Puis, nous définissons le volume total des parois verticales légères intérieures (m<sup>3</sup>) correspondant au produit entre le linéaire des parois verticales légères intérieures estimées grâce aux plans de niveaux, la hauteur estimée de l'immeuble et une épaisseur moyenne de 0,07m estimée à l'aide des plans de niveaux et des revues d'architecture.

Et finalement, nous déterminons le volume total des façades sans le vitrage (m<sup>3</sup>) qui correspond à la somme des surfaces de façades non-vitrées que nous multiplions par une épaisseur moyenne de 0,25m estimée à l'aide des plans de niveaux et des revues d'architecture.

Une fois que nous avons le volume respectif des différents types de paroi, nous le multiplions par leur masse volumique respective et nous l'additionnons à la masse des planchers puis nous le divisons par 1000 pour l'avoir en tonnes (la masse sera exprimée en tonnes pour normaliser les résultats).

Le calcul de la masse du bâtiment se présente sous cette forme :

$$\text{Masse du bâtiment} = ((0,2 \times \text{Surface du plancher} \times (\text{nombre de niveau} + 1) \times \text{Masse Vol. béton armé}) + (\text{Volume respectif des différents types de paroi verticale} \times \text{leur masse volumique respective}))/1000$$

Nous estimons 0,20m d'épaisseur moyenne pour la dalle du plancher grâce aux différentes revues d'Architecture et on a (*nombre de niveau +1*) parce que nous tenons compte du toit. Après cela, il suffit de faire le rapport entre la masse du bâtiment et son volume pour trouver l'indice d'inertie thermique du bâtiment que nous allons appeler I et qui exprime le taux d'inertie thermique potentiel du bâtiment. Il se présente sous la forme suivante :

$$\text{Indice d'inertie I (bât) (t/m}^3\text{)} = \frac{\text{Masse (t)}}{\text{Volume (m}^3\text{)}}$$

**Données nécessaires** : Le calcul de cet indicateur nécessite la connaissance de la volumétrie du bâtiment, des nombres de niveau, de la composition dominante des différents types de paroi verticale, et des planchers. Nous nous sommes basés sur l'ouvrage *Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements & méthodes* (Fernandez, Lavigne, 2009) pour déterminer la masse volumique des matériaux.

**Principe de l'indice** : L'indicateur d'inertie thermique I caractérise la possibilité d'un bâtiment à stocker de l'énergie à travers ses dispositifs constructifs, autrement dit la masse ou la quantité de matière présente dans un bâtiment pour un volume donné. C'est la masse du bâtiment par m<sup>3</sup> de volume en tenant compte des apports en termes d'inertie de la structure, des parois internes et de l'enveloppe sans le vitrage. Par conséquent, plus la masse volumique est importante, plus le bâtiment est inerte. Et a contrario, plus la masse volumique est faible, et moins la capacité de stockage est importante.

Dans l'exemple ci-contre de la figure 20, le second bâtiment (qui dispose d'un indice d'inertie de 0,438 t/ m<sup>3</sup>) est nettement plus inerte que le premier (0,254 t/m<sup>3</sup>). Avec une masse conséquente de 438kg par m<sup>3</sup> de volume, on peut prétendre qu'il est plus apte à stocker de l'énergie pour pouvoir la restituer en fonction des changements des conditions ambiantes du bâtiment (en comparaison avec l'autre). Cette capacité d'inertie thermique évolue en fonction de la masse volumique des matériaux.

Indice d'inertie I (en t/m <sup>3</sup> )
0,254
0,438
0,351

**Figure 20** : un exemple de résultats de l'indice d'inertie I pour trois bâtiments

### 3.5. Indicateurs relatifs à la ventilation naturelle traversante

En se référant à l'état de l'art des indicateurs présentés en début de chapitre, nous avons établi plusieurs indicateurs (listés en annexe) pour la ventilation naturelle, qui n'ont pas pu fonctionner car ils n'étaient pas adaptés à notre analyse. Par exemple, le tableau de calcul différentiel (Ferrucci, 2017) ne prend en compte que les étages complètement vides et donc ça ne peut fonctionner en théorie que si les appartements sont 100% traversants ; ce qui n'est toujours pas le cas dans l'échantillon que nous étudions ; raison pour laquelle nous n'avons pas pu mettre en œuvre cet indice dans notre analyse.

L'indicateur qui semblait être le plus pertinent pour l'analyse est à l'échelle du logement car c'est finalement la typologie de l'appartement qui donne un caractère à la ventilation naturelle traversante.

Par conséquent, nous avons établis des indicateurs à l'échelle des appartements qui permettent de montrer la perméabilité des appartements à la ventilation naturelle traversante. Nous nous intéressons à la configuration intérieure des appartements ; il est nécessaire de ce fait, de disposer des plans de niveaux ou d'un plan d'étage courant du bâtiment étudié.

Nous déterminons subséquemment pour chaque bâtiment :

- Le pourcentage (en nombre) de logement traversant : correspondant au nombre de logements ayant une double orientation opposée. (Par exemple 1 équivaut à 100%, 0=0% aucun logement, 0.58=58% etc.)
- Le pourcentage (en nombre) de logements d'angle à 90° : correspondant au nombre de logements ouverts sur deux façades en angle, notamment pour les projets de type "plot".
- Et enfin, le pourcentage (en nombre) de logements mono-orientés qui correspond au nombre de logements ouverts d'un seul côté, sur une seule façade.

Il faut noter que la somme de ces pourcentages équivaut à 100% et par conséquent, c'est le nombre total de logement du projet.



### 3.6. Mise en œuvre sur le tableau Smart French

Pour pouvoir mettre en œuvre les indicateurs précédemment établis, nous devons ajouter des nouvelles colonnes dans le tableau Smart French. Ce dernier est constitué d'une base de données capable de caractériser les bâtiments du corpus. La composition complète de ce tableau est rappelée et détaillée dans la première partie du chapitre 4. De ce fait, les nouveaux paramètres seront nécessaires pour calculer les indicateurs mis en place. Voici ci-dessous une description des colonnes ajoutées et ce à quoi ils correspondent.

#### AU NIVEAU DU BÂTIMENT

**Longueur (m)** : indiquant la longueur exacte du bâtiment grâce au plan cadastral (Cadastré, 2018).

**Largeur (m)** : indiquant la largeur exacte du bâtiment grâce au plan cadastral (Cadastré, 2018).

**Surface totale des planchers (m<sup>2</sup>)** : c'est le produit entre la surface d'emprise au sol et le nombre de niveau.

**Nombre de niveau** : correspondant au nombre de niveau selon la case *Nombre d'étage*.

**Hauteur estimée (m)** : c'est une mise à jour de la colonne *Hauteur* parce que la hauteur indiquée précédemment dans la base de données est une estimation fine de la hauteur réelle.

**Surface vitrée totale (m<sup>2</sup>)** : c'est la somme des surfaces vitrées des façades.

**Volume total des parois verticales lourdes intérieures (m<sup>3</sup>)** : correspond au produit entre le linéaire des parois verticales lourdes intérieures (estimées grâce aux plans de niveaux), la hauteur estimée de l'immeuble et une épaisseur moyenne de 0,25m évaluée à l'aide des plans de niveaux et des revues d'Architecture.

**Volume total des parois verticales légères intérieures (m<sup>3</sup>)** : correspond au produit entre le linéaire des parois verticales légères intérieures estimées grâce aux plans de niveaux, la hauteur estimée de l'immeuble et une épaisseur moyenne de 0,07m estimée à l'aide des plans de niveaux et des revues d'Architecture.

**Volume total des façades sans le vitrage (m<sup>3</sup>)** : correspond à la somme des surfaces de façades non-vitrées que nous multiplions par une épaisseur moyenne de 0,25m estimée à l'aide des plans de niveaux et des revues d'Architecture.

**Masse volumique (t/m<sup>3</sup>)** : indiquant la masse volumique de la solution constructive dominante de chaque type de parois façades. Nous prenons en compte le béton pour les parois verticales légères et le béton armé pour les parois verticales lourdes intérieurs quand les données ne sont pas disponibles dans les revues d'architecture.

**Volume ( $m^3$ )** : indiquant le volume du bâtiment. C'est le produit entre la hauteur estimée du bâtiment, sa longueur et sa largeur réelle.

**Masse (t)** : correspond à la masse du bâtiment et exprimée en tonnes pour simplifier les calculs. Sachant que nous estimons 0,20m d'épaisseur moyenne pour la dalle du plancher grâce aux différentes Revues d'Architecture de l'époque.

**Apport solaire total Hiver/Été (kWh/jour)** : c'est la somme des apports solaires des façades du bâtiment à travers le vitrage et pour la saison correspondant (Hiver ou Été).

#### AU NIVEAU DE LA FAÇADE

**Surface de la façade ( $m^2$ )** : Correspond à la surface respective de chaque façade.

**Surface vitrée de la façade ( $m^2$ )** : C'est le produit entre la *Surface de la façade* et le *% de Vitrage*.

**Apport solaire moyen reçu par jour ( $kWh/m^2/jour$ )** : Pour chaque façade et selon son orientation, nous calculons la moyenne de l'apport solaire reçu grâce au logiciel CALSOL (CalSol, 2018).

**Coefficient loggia/balcon/coursive** : Ce coefficient représente le pourcentage d'apport solaire à prendre en compte quand il y a la présence d'un balcon, d'une loggia ou d'une coursive. Il tient compte de l'ombre générée par ces dispositifs architecturaux. En pondérant l'apport solaire par ce coefficient, nous retrouvons directement l'apport solaire moyen reçu par la façade (en dehors de ce qui est ombragé).

Il est calculé grâce au logiciel CALSOL qui permet de dimensionner la casquette des différents types de dispositifs présents dans les bâtiments et leur pourcentage de masque. Nous différencierons l'hiver et l'été en raison des changements de hauteur du soleil qui influent sur les zones ombragées.

Ce coefficient est égal à 1 si la façade ne présente aucun dispositif architectural. Il faut noter que nous ne tenons pas compte des cas particuliers où les ombres sont très négligeables (exemple : un balcon sur la moitié d'un seul niveau, ou une coursive sur une partie non-vitrée de la façade).

**Apport solaire par façade ( $kWh/jour$ )** : C'est le produit entre l'apport solaire moyen reçu par jour, la surface vitrée de la façade, le coefficient loggia/balcon/coursive et l'inverse du *% de Masque*. En d'autres termes, c'est l'énergie moyenne reçue par la façade à travers le vitrage en tenant compte des éventuelles ombres générées par les dispositifs constructifs ou les bâtiments avoisinants.

## Chapitre 4 : ANALYSE DES POTENTIALITÉS BIOCLIMATIQUES DES BÂTIMENTS DU CORPUS

### 4.1. Description et présentation du corpus

Le corpus d'études du projet de recherche Smart French est constitué de plus de 300 projets qui contiennent eux-mêmes une dizaine de bâtiments en moyenne chacun. Il est disponible en ligne sous forme de banque de données et regroupe des projets conçus/construits entre 1945 et 1975 dans toute la France avec des informations recueillies dans les différentes revues d'Architecture de la période des Trente glorieuses.

Cependant, il est important de souligner que ces informations ne sont pas suffisantes pour mener à bien notre étude. Par conséquent, nous ne pouvons pas l'exploiter au maximum. De ce fait, nous nous sommes basés sur le tableau établi lors du mémoire d'El Alami sur les orientations solaires (El Alami, 2017). Ce tableau contient toutes les informations nécessaires pour appliquer nos indicateurs préalablement élaborés, en plus des paramètres que nous avons ajoutée. Il regroupe 13 projets et nous en avons ajouté un de plus. Au début, nous avons décidé d'ajouter au moins une quinzaine d'autres projets au tableau pour aller jusqu'à 25 ou 30 projets, mais des contraintes techniques nous en ont empêché (notamment l'indisponibilité de la base de données regroupant les 80 monographies et cela depuis la fin du mois de juillet jusqu'à la fin du mois d'août ; période pendant laquelle l'enrichissement du tableau était prévu).

Nous allons rappeler le contexte de ce tableau regroupant les 14 projets. Il est composé d'une colonne qui regroupe les informations générales du projet comme le numéro du projet, l'intitulé, le lieu, la latitude, les dates de conception et de livraison, l'architecte, la protection établie (s'il y en a une), le nombre de logements et le nombre de bâtiments (figure 21).

Projet									
				Date					
N Projet	Intitulé	Lieu	Latitude (°)	Conception	Livraison	Architecte	Protection	Nbr de Logements	Nbr de Bâts

Figure 21 : Colonne "Projet" du tableau Smart French

Puis, nous avons une autre colonne qui regroupe de la même façon toutes les informations concernant les bâtiments du projet considéré (type, longueur, largeur, hauteur etc.) ainsi que tous les nouveaux paramètres présentés dans la partie 3.6. *Mise en œuvre sur le tableau Smart French* (figure 22). Il en est de même pour toutes les informations concernant les façades (exposition, pourcentage de vitrage, dispositifs architecturaux etc.)(Figure 23).

Bâtiment									
Type	Longueur (m)	Largeur (m)	Surface d'emprise au sol (m <sup>2</sup> )	Surface totale des planchers (m <sup>2</sup> )	Nbr d'Etages	Nombre de niveau	Hauteur estimée (m)	RDC Libre	Surface vitrée totale (m <sup>2</sup> )

Figure 22 : Un extrait de la colonne "Bâtiment" du tableau Smart French

		Façade							
		Apport solaire moyen reçu par jour (kWh/m <sup>2</sup> /jour)		Dispositifs Architecturaux				Coefficient loggia/balcon/coursive	
Surface de la façade (m <sup>2</sup> )	Surface vitrée de la façade (m <sup>2</sup> )	HIVER : Moy journalière des mois de DEC-JAN-FEV	Été : Moy journalière des mois de JUIN-JUILLET-AOÛT	Ouvertures	Balcon	Coursives	Loggia	Hiver	Été

**Figure 23** : Un extrait de la colonne "Façade" du tableau Smart French

Nous nous basons donc sur 14 projets (figure 24) de la base de données Smart French, préalablement sélectionnés à travers les études effectuées sur les orientations solaires (El Alami, 2017) et la quantité d'informations disponibles. En termes de chiffres, il s'agit de 133 bâtiments, 580 façades et 5044 logements.

N Projet	Intitulé	Lieu	Latitude (°)	Conception	Livraison	Architecte	Protection	Nbr de Lgts	Nbr de Bâts
5	Front de mer Sud	Le Havre	49,50	1946	1956	P-E. Lambert	ZPPAU - Patrimoine mondial UNESCO	72	3
27	Saint-Denis	Paris	48,85		1957	F. Ottin		600	11
38	Résidence Fernand Pouillon	Aix-en-Provence	43,50	1951	1953	F. Pouillon	Label Patrimoine du XXème siècle	200	9
39	Groupe d'immeubles HLM au quai des Belges	Strasbourg	48,50	1951	1953	G. Stoskopf		256	9
44	Cité des Bleuets	Créteil	48,80	1959	1962	P. Bossard	Label Patrimoine du XXème siècle	560	10
77	La citadelle	Bagnols-sur-Cèze	44,16	1956	1958	G. Candilis		370	21
84	Résidence le Château de Louveciennes	Louveciennes	48,85	1957	1961	P. Herbé	Label Patrimoine du XXème siècle	260	16
114	Quartier de la Chancellerie	Bourges	47,00	1946	1960	M. Andraut & P. Parat		231	5
120	Cité des Provinces françaises	Paris	48,85	1951	1959	B. Zehrfuss		776	3
121	Les Buffets - Fontenay aux Roses	Paris	48,85	1957	1959	G. Lagneau		261	11
165	Cité des hauts pavés	Nantes	47,20	1947	1952	M. Roux-Spitz		164	11
175	Unité d'habitation de Marseille	Marseille	43,30	1945	1952	Le Corbusier	Monument Historique	321	1
303	Chantier expérimental du MRU à Aubervilliers	Paris	48,85	1950	1952	A. Sive		173	2
40	Les bas coudrais-92-sceaux, hauts-de-seine	Sceaux	48,78	1957	1962	E. Beaudoin		800	21

**Figure 24** : Liste et informations des quatorze projets étudiés

## 4.2. Application des indicateurs

Nous avons retenus au final 5 indicateurs à savoir :

- L'indice C absolu de captation de l'apport solaire en hiver (pour évaluer le potentiel de gain énergétique en hiver)
- L'indice C absolu de captation de l'apport solaire en été (afin de prévenir les risques potentiels de surchauffe en été)
- L'indice D absolu de déperdition correspondant au caractère déperditif du bâtiment à travers le rapport entre le vitrage et la compacité.
- L'indice I absolu d'inertie thermique qui correspond à la masse volumique du bâtiment et qui caractérise le potentiel d'un bâtiment à stocker de l'énergie à travers ses dispositifs constructifs.
- L'indice V qui comporte 3 sous-indices et qui permet de montrer la perméabilité des logements à la ventilation naturelle traversante.

Pour appliquer les indicateurs sur le tableau Smart French, nous avons utilisé le logiciel Excel afin de lier toutes les formules entre elles, en distinguant bien les paramètres, pour qu'à l'avenir, les membres Smart French puissent l'enrichir directement. Le tableau complet se trouve en annexe de ce mémoire.

NB : Le quatorzième projet -autre que ceux qu'El Alami (2017) a recensés dans son tableau- ne tiendra pas compte de la pondération avec le pourcentage de masque dans les calculs car nous n'avons pas eu le temps de refaire les mêmes simulations d'ombres portées qui ont fait l'objet de son stage. Néanmoins, ce pourcentage de masque ne concerne que l'indice de captation C qui reste approximatif pour ce seul projet.

## 4.3. Résultats

Les résultats des indicateurs retenus dans la précédente sous-partie sont listés ci-dessous (figure 25). Ils serviront de bases pour l'analyse factorielle. Pour la colonne type : 1 correspond au type "barre", 2 correspond au type "plot", 3 correspond au type "tour", 4 au type "L", 5 au type "U" et 6 au type "Complexe".

N° de projet	ID	Année de livraison	Type	Indice C absolu HIVER (en kWh/m <sup>2</sup> /jour)	Indice C absolu ÉTÉ (en kWh/m <sup>2</sup> /jour)	Indice D absolu (en m-1)	Indice d'inertie I (en t/m <sup>3</sup> )	% (en nombre) de logts traversants	% (en nombre) de logts d'angle à 90°	% (en nombre) de logts mono-orientés
5	5.1	1956	1	0,251	0,640	0,075	0,274	1,000	0,000	0,000
	5.2	1956	1	0,251	0,640	0,075	0,274	1,000	0,000	0,000

	5.3	1956	1	0,245	0,626	0,075	0,271	1,000	0,000	0,000
27	27.1	1957	1	0,245	0,852	0,105	0,371	1,000	0,000	0,000
	27.2	1957	1	0,246	0,885	0,094	0,332	1,000	0,000	0,000
	27.3	1957	1	0,245	0,852	0,105	0,371	1,000	0,000	0,000
	27.4	1957	1	0,245	0,882	0,094	0,321	1,000	0,000	0,000
	27.5	1957	1	0,233	0,789	0,096	0,374	1,000	0,000	0,000
	27.6	1957	1	0,191	0,698	0,099	0,328	1,000	0,000	0,000
	27.7	1957	1	0,081	0,426	0,095	0,346	1,000	0,000	0,000
	27.8	1957	1	0,158	0,618	0,105	0,371	1,000	0,000	0,000
	27.9	1957	1	0,101	0,481	0,095	0,346	1,000	0,000	0,000
	27.10	1957	1	0,158	0,618	0,105	0,371	1,000	0,000	0,000
	27.11	1957	1	0,220	0,786	0,100	0,283	1,000	0,000	0,000
38	38.1	1953	4	0,318	0,695	0,058	0,336	0,985	0,015	0,000
	38.2	1953	2	0,295	0,741	0,068	0,327	0,000	1,000	0,000
	38.3	1953	1	0,334	0,912	0,070	0,357	1,000	0,000	0,000
	38.4	1953	2	0,347	0,811	0,067	0,325	0,000	1,000	0,000
	38.5	1953	2	0,077	0,285	0,052	0,469	0,000	1,000	0,000
	38.6	1953	4	0,288	0,634	0,058	0,318	0,980	0,020	0,000
	38.7	1953	5	0,207	0,529	0,050	0,311	0,940	0,060	0,000
	38.8	1953	3	0,270	0,712	0,072	0,309	0,000	1,000	0,000
	38.9	1953	1	0,204	0,513	0,067	0,319	1,000	0,000	0,000
39	39.1	1953	1	0,229	0,792	0,110	0,408	0,000	1,000	0,000
	39.2	1953	1	0,240	0,821	0,115	0,395	0,000	1,000	0,000
	39.3	1953	1	0,172	0,591	0,089	0,396	0,000	1,000	0,000
	39.4	1953	1	0,110	0,407	0,066	0,375	0,000	1,000	0,000
	39.5	1953	1	0,198	0,717	0,110	0,408	0,000	1,000	0,000
	39.6	1953	1	0,217	0,763	0,110	0,408	0,000	1,000	0,000
	39.7	1953	1	0,217	0,764	0,110	0,408	0,000	1,000	0,000
	39.8	1953	1	0,162	0,546	0,081	0,378	0,000	1,000	0,000
	39.9	1953	1	0,236	0,809	0,115	0,395	0,000	1,000	0,000
44	44.1	1962	1	0,114	0,486	0,058	0,438	0,700	0,000	0,300
	44.2	1962	6	0,111	0,455	0,060	0,427	0,700	0,000	0,300
	44.3	1962	1	0,117	0,501	0,060	0,432	0,700	0,000	0,300
	44.4	1962	6	0,113	0,488	0,058	0,427	0,700	0,000	0,300
	44.5	1962	6	0,115	0,493	0,059	0,433	0,700	0,000	0,300
	44.6	1962	1	0,119	0,507	0,060	0,414	0,700	0,000	0,300
	44.7	1962	6	0,130	0,533	0,063	0,392	0,700	0,000	0,300
	44.8	1962	1	0,120	0,505	0,061	0,354	0,700	0,000	0,300
	44.9	1962	1	0,118	0,505	0,060	0,433	0,700	0,000	0,300
	44.10	1962	1	0,121	0,512	0,061	0,395	0,700	0,000	0,300
77	77.1	1958	1	0,416	0,763	0,067	0,457	1,000	0,000	0,000
	77.2	1958	1	0,192	0,537	0,074	0,414	1,000	0,000	0,000

	77.3	1958	1	0,183	0,514	0,074	0,426	1,000	0,000	0,000
	77.4	1958	1	0,345	0,798	0,074	0,414	1,000	0,000	0,000
	77.5	1958	1	0,322	0,743	0,074	0,426	1,000	0,000	0,000
	77.6	1958	2	0,387	0,857	0,064	0,463	1,000	0,000	0,000
	77.7	1958	1	0,416	0,763	0,067	0,457	1,000	0,000	0,000
	77.8	1958	1	0,345	0,798	0,074	0,414	1,000	0,000	0,000
	77.9	1958	1	0,322	0,743	0,074	0,426	1,000	0,000	0,000
	77.10	1958	1	0,345	0,798	0,074	0,414	1,000	0,000	0,000
	77.11	1958	2	0,299	0,737	0,064	0,474	1,000	0,000	0,000
	77.12	1958	2	0,387	0,857	0,064	0,463	1,000	0,000	0,000
	77.13	1958	1	0,322	0,743	0,074	0,426	1,000	0,000	0,000
	77.14	1958	1	0,345	0,798	0,074	0,414	1,000	0,000	0,000
	77.15	1958	1	0,322	0,743	0,074	0,426	1,000	0,000	0,000
	77.16	1958	1	0,345	0,798	0,074	0,414	1,000	0,000	0,000
	77.17	1958	2	0,360	0,798	0,064	0,474	1,000	0,000	0,000
	77.18	1958	2	0,299	0,737	0,064	0,474	1,000	0,000	0,000
	77.19	1958	1	0,207	0,568	0,074	0,414	1,000	0,000	0,000
	77.20	1958	1	0,177	0,503	0,074	0,426	1,000	0,000	0,000
	77.21	1958	2	0,157	0,527	0,064	0,463	1,000	0,000	0,000
84	84.1	1961	2	0,159	0,532	0,067	0,369	0,000	1,000	0,000
	84.2	1961	2	0,159	0,532	0,067	0,369	0,000	1,000	0,000
	84.3	1961	2	0,159	0,532	0,067	0,369	0,000	1,000	0,000
	84.4	1961	2	0,159	0,532	0,067	0,369	0,000	1,000	0,000
	84.5	1961	2	0,162	0,544	0,067	0,372	0,000	1,000	0,000
	84.6	1961	2	0,103	0,404	0,067	0,372	0,000	1,000	0,000
	84.7	1961	2	0,114	0,420	0,067	0,369	0,000	1,000	0,000
	84.8	1961	2	0,159	0,532	0,067	0,369	0,000	1,000	0,000
	84.9	1961	2	0,162	0,544	0,067	0,372	0,000	1,000	0,000
	84.10	1961	2	0,122	0,449	0,067	0,372	0,000	1,000	0,000
	84.11	1961	2	0,159	0,532	0,067	0,369	0,000	1,000	0,000
	84.12	1961	2	0,168	0,526	0,067	0,372	0,000	1,000	0,000
	84.13	1961	2	0,117	0,412	0,067	0,372	0,000	1,000	0,000
	84.14	1961	2	0,147	0,463	0,067	0,369	0,000	1,000	0,000
	84.15	1961	2	0,164	0,515	0,067	0,369	0,000	1,000	0,000
	84.16	1961	2	0,155	0,550	0,067	0,372	0,000	1,000	0,000
114	114.1	1960	5	0,098	0,338	0,065	0,629	1,000	0,000	0,000
	114.2	1960	5	0,114	0,370	0,067	0,643	1,000	0,000	0,000
	114.3	1960	2	0,109	0,325	0,058	0,746	0,000	1,000	0,000
	114.4	1960	2	0,107	0,321	0,058	0,746	0,000	1,000	0,000
	114.5	1960	2	0,109	0,325	0,058	0,746	0,000	1,000	0,000
120	120.1	1959	1	0,122	0,509	0,047	0,451	0,046	0,062	0,892
	120.2	1959	1	0,122	0,509	0,047	0,451	0,046	0,062	0,892

	120.3	1959	1	0,122	0,509	0,047	0,451	0,046	0,062	0,892
121	121.1	1959	2	0,234	0,831	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
	121.2	1959	2	0,234	0,831	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
	121.3	1959	2	0,180	0,680	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
	121.4	1959	2	0,234	0,831	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
	121.5	1959	2	0,234	0,831	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
	121.6	1959	2	0,187	0,699	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
	121.7	1959	2	0,234	0,831	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
	121.8	1959	2	0,234	0,831	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
	121.9	1959	2	0,224	0,803	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
	121.10	1959	2	0,234	0,831	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
	121.11	1959	2	0,234	0,831	0,111	0,536	0,000	1,000	0,000
165	165.1	1952	1	0,208	0,699	0,070	0,457	1,000	0,000	0,000
	165.2	1952	1	0,187	0,660	0,070	0,457	1,000	0,000	0,000
	165.3	1952	1	0,231	0,783	0,079	0,460	1,000	0,000	0,000
	165.4	1952	1	0,220	0,764	0,079	0,440	1,000	0,000	0,000
	165.5	1952	1	0,217	0,757	0,077	0,509	1,000	0,000	0,000
	165.6	1952	1	0,227	0,765	0,077	0,509	1,000	0,000	0,000
	165.7	1952	1	0,173	0,602	0,062	0,455	1,000	0,000	0,000
	165.8	1952	1	0,178	0,604	0,062	0,455	1,000	0,000	0,000
	165.9	1952	1	0,217	0,757	0,077	0,509	1,000	0,000	0,000
	165.10	1952	1	0,227	0,765	0,077	0,509	1,000	0,000	0,000
	165.11	1952	1	0,172	0,598	0,062	0,455	1,000	0,000	0,000
175	175.1	1952	1	0,253	0,624	0,072	0,294	0,916	0,056	0,028
303	303.1	1952	1	0,139	0,543	0,073	0,380	1,000	0,000	0,000
	303.2	1952	1	0,130	0,487	0,071	0,374	0,908	0,000	0,092
40	40.1	1962	6	0,111	0,329	0,049	0,500	0,988	0,000	0,013
	40.2	1962	1	0,208	0,592	0,061	0,650	0,988	0,000	0,013
	40.3	1962	1	0,150	0,427	0,048	0,547	0,988	0,000	0,013
	40.4	1962	1	0,166	0,470	0,048	0,724	0,988	0,000	0,013
	40.5	1962	1	0,203	0,470	0,076	0,505	0,988	0,000	0,013
	40.6	1962	1	0,167	0,717	0,062	0,664	0,988	0,000	0,013
	40.7	1962	1	0,147	0,566	0,084	0,479	0,988	0,000	0,013
	40.8	1962	3	0,176	0,566	0,081	0,444	0,000	1,000	0,000
	40.9	1962	1	0,193	0,430	0,070	0,543	0,988	0,000	0,013
	40.10	1962	3	0,118	0,374	0,050	0,461	0,000	1,000	0,000
	40.11	1962	1	0,183	0,390	0,065	0,508	0,988	0,000	0,013
	40.12	1962	1	0,157	0,599	0,077	0,538	0,988	0,000	0,013
	40.13	1962	1	0,119	0,453	0,067	0,479	0,988	0,000	0,013
	40.14	1962	1	0,126	0,472	0,069	0,481	0,988	0,000	0,013
	40.15	1962	1	0,209	0,499	0,072	0,515	0,988	0,000	0,013
	40.16	1962	1	0,211	0,600	0,062	0,634	0,988	0,000	0,013



40.17	1962	1	0,203	0,516	0,085	0,510	0,988	0,000	0,013
40.18	1962	1	0,130	0,481	0,071	0,493	0,988	0,000	0,013
40.19	1962	1	0,223	0,532	0,076	0,591	0,988	0,000	0,013
40.20	1962	1	0,211	0,485	0,079	0,518	0,988	0,000	0,013
40.21	1962	6	0,172	0,409	0,064	0,486	0,988	0,000	0,013

**Figure 25** : Résultats des indices retenus pour l'analyse factorielle

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## Chapitre 5 : DISCUSSIONS SUR LES POTENTIALITÉS BIOCLIMATIQUES DES BÂTIMENTS

### 5.1. Résultats de l'analyse factorielle

Après avoir calculé les résultats des indices, ils ont fait l'objet d'une analyse factorielle, sur le logiciel R Studio, effectuée par mon encadrant Ignacio Requena-Ruiz qui a accepté de m'aider car je ne connaissais pas le logiciel et je n'ai pas eu le temps de lancer l'analyse. Il a fait du clustering selon la méthode K-means en ne tenant pas compte des colonnes du numéro de projet, de l'ID, de l'année et du type. Les processus de calcul ont été faits sur la base des travaux de Kassambara (2017).

Les graphes complets qui représentent ces résultats se trouvent en annexe de ce mémoire. Il y a 5 projets des années 1950-1954, 5 projets des années 1955-1959 et 4 projets des années 1960-1964. Voici les correspondances entre les numéros et les années, puis entre les numéros et les types :

<u>Année :</u>		<u>Type :</u>			
<u>1.</u> 1950-1954	<u>2.</u> 1955-1959	<u>1.</u> Barre	<u>2.</u> Plot	<u>3.</u> Tour	
<u>3.</u> 1960-1964		<u>4.</u> L	<u>5.</u> U	<u>6.</u> Complexe	

Nous allons l'interpréter afin d'évaluer l'échantillon étudié du point de vue des caractéristiques bioclimatiques. Il faut garder à l'esprit que ces comparaisons sont relatives et que ça ne concerne qu'un échantillon composé de 14 projets parmi les 308 projets du corpus Smart French.

### 5.2. Comparaison deux à deux

#### 5.2.1. Rapport entre la captation d'hiver et la captation d'été

Nous avons choisi d'étudier le rapport entre la captation d'hiver et d'été pour voir s'il existerait des projets qui auraient tendance à bien capter en hiver tout en évitant les risques de surchauffe l'été.

D'après les graphes de la figure 26a et 26b, nous constatons généralement que la majorité des bâtiments qui captent en hiver (avec indice C hiver élevé) ont tendance à avoir un risque de surchauffe l'été (C été élevé aussi) et a contrario, les bâtiments qui évitent le risque de surchauffe l'été (avec un indice C été bas), disposent d'une capacité de captation faible l'hiver (C hiver bas aussi). Le maximum qu'un bâtiment peut capter en hiver dans notre échantillon s'élève à 0,42 kWh/m<sup>2</sup>/jour pour un minimum de 0,08 kWh/m<sup>2</sup>/jour.

En analysant le graphe 26a, nous remarquons que les projets des années 1950-1954 et 1955-1959 sont dispersés sur l'ensemble du graphe tandis que les projets des années 1960-1964 sont regroupés à part.

Les projets des années 1955-1959 sont ceux qui captent beaucoup en hiver comme en été, il s'agit de la plupart des bâtiments du projet 77-La citadelle de l'architecte G. Candilis ; et des projets 27-Saint-Denis/121-Les buffets qui, quant à eux, tendent plus vers un risque de surchauffe qu'une captation de l'apport solaire en hiver. Nous constatons également que les projets des années 1960-1964, tels que La cité des Bleuets-44, Les bas coudrais-40, la résidence le château de Louveciennes-84 ou le 114-Quartier de la chancellerie, sont ceux qui présentent un faible potentiel aussi bien en risque de surchauffe qu'en captation d'apport solaire.

La citadelle-77 capte presque 4 fois plus en hiver et 2 fois plus en été par rapport au 114-Quartier de la chancellerie ; c'est une grandeur forte qui laisse penser à un changement profond d'architecture à partir des années 1960. Alors est-ce dû au fait qu'il y ait des nouvelles distributions dans le logement avec des appartements moins traversants et plus de logements d'angle/mono-orientés, avec une double épaisseur des barres? Ou à une évolution dans la forme architecturale ?

Par rapport aux types de bâtiments, les barres, plots et tours sont globalement repartis dans le graphique sans tendance particulière. Par conséquent, ce qui est surprenant, ce que nous ne retrouvons pas les caractéristiques des plots en termes de captation de l'apport solaire, d'orientation et de pourcentage de vitrage. Ils sont assez dispersés sur le graphe ; par conséquent, le croisement entre les deux graphes 26a et 26b permet d'enlever l'hypothèse que ce serait plutôt les plots ou les barres qui seraient plus captatifs ; et laisse place à d'autres hypothèses sur un changement d'architecture, probablement à une diminution des surfaces des fenêtres ou des types d'ouvertures, ou encore la généralisation des dispositifs constructifs qui diminue le taux de captation. Nous n'avons pas vraiment de bâtiments qui auraient tendance à se protéger des risques de surchauffe en été tout en captant bien l'apport solaire en hiver. Cependant, il y a des limites sur la protection d'été car l'intervention de l'utilisateur à travers les dispositifs de protection solaire compte pour beaucoup.

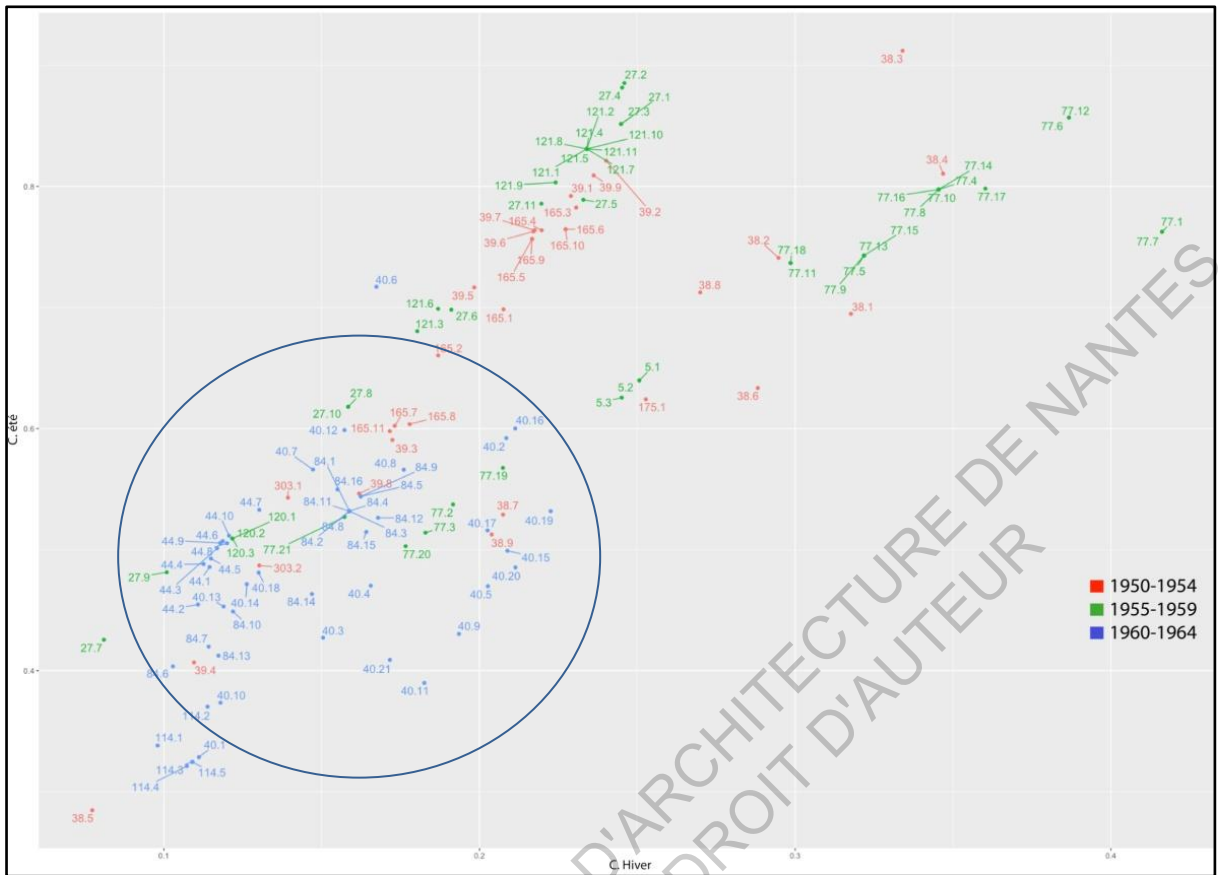


Figure 26.a : Graphe du croisement entre la captation d'hiver et celle d'été, identifié par années

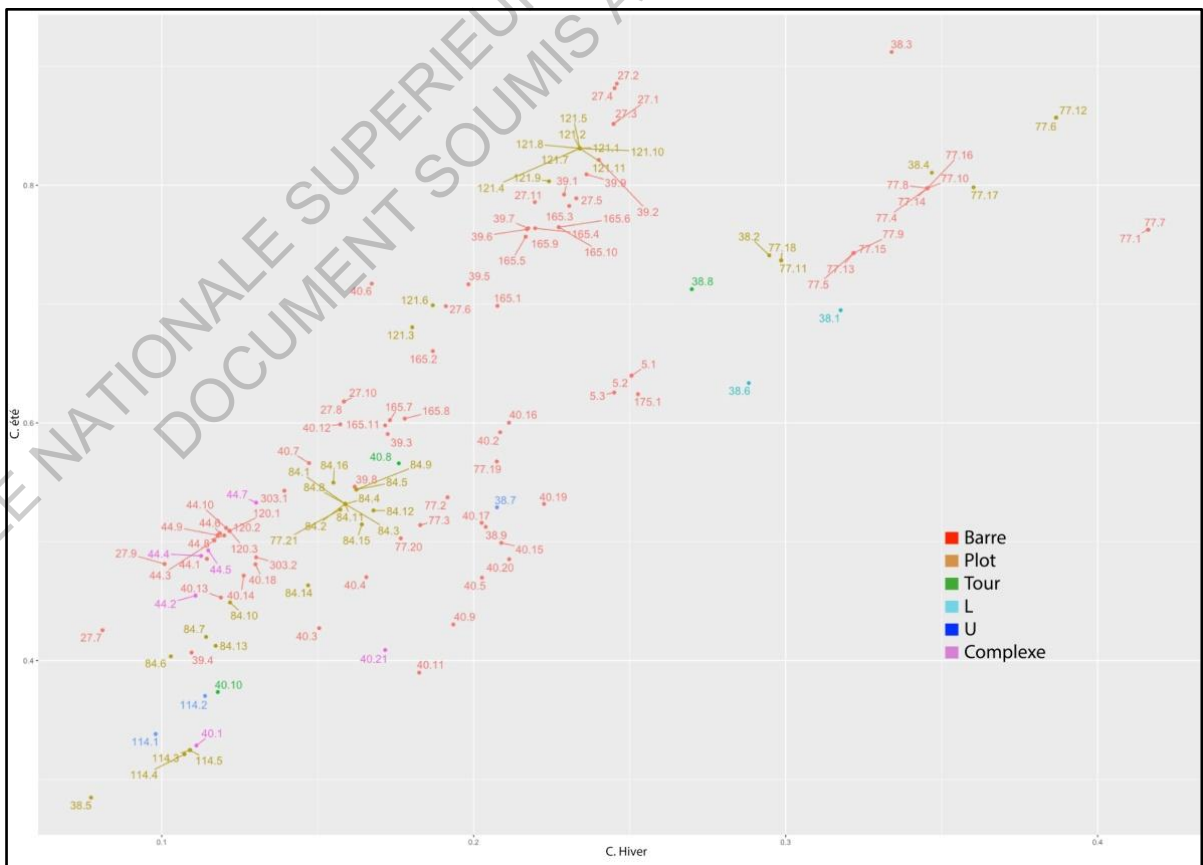


Figure 26.b : Graphe du croisement entre la captation d'hiver et celle d'été, classé par types

### 5.2.2. Rapport entre la captation d'hiver et la déperdition

Nous avons choisi d'étudier le rapport entre la captation de l'apport solaire en hiver et la compacité vitrée (représenté par l'indice de déperdition D) pour savoir la possible existence de projets pouvant capter l'apport solaire en hiver tout en étant les moins déperditifs possible.

A travers les graphes des figures 28a et 28b, nous constatons d'abord qu'il y a des bâtiments qui captent moyennement en hiver mais qui ont des indices de déperdition assez élevés ; ce qui les rend déficients. Par contre, nous remarquons que les bâtiments du projet 77-La citadelle (figure 27) et certains bâtiments du projet 38-Résidence Fernand Pouillon captent bien l'apport solaire en hiver tout en présentant des indices de déperdition assez bas : c'est qui semble être un bon point pour l'instant car c'est des bâtiments très compact et très captatifs en hiver.

Ce lien entre captation d'hiver/déperdition est corrélé au rapport précédent entre captation d'hiver/captation été car nous constatons que les projets des années 1960-1964 sont assez regroupés entre eux encore. Les projets des années 1950-1954 et 1955-1959 ne présentent pas de tendance particulière tandis que ceux des années 1960-1964 sont moins captatifs et plus compacts ; ils correspondent à la période d'émergence des notions en bioclimatisme et pourtant ce sont les moins captatifs en hiver

En termes de type de bâtiment, nous retrouvons la dispersion des barres, tours et plots sur tout le graphe sans tendance particulière.

En bref, nous constatons que dans l'échantillon étudié, nous avons une minorité de bâtiments capables de capter l'apport solaire en hiver tout en évitant les déperditions d'énergie à travers la compacité vitrée.

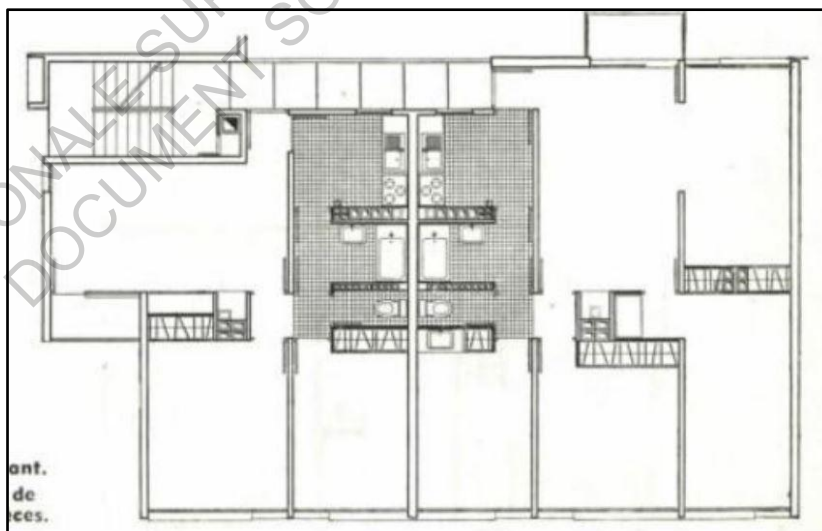


Figure 27 : Extrait de plan d'étage du projet 77-La Citadelle- compact et très captatif

Source : Architecture d'Aujourd'hui - 1957 - n°74 - p. 31

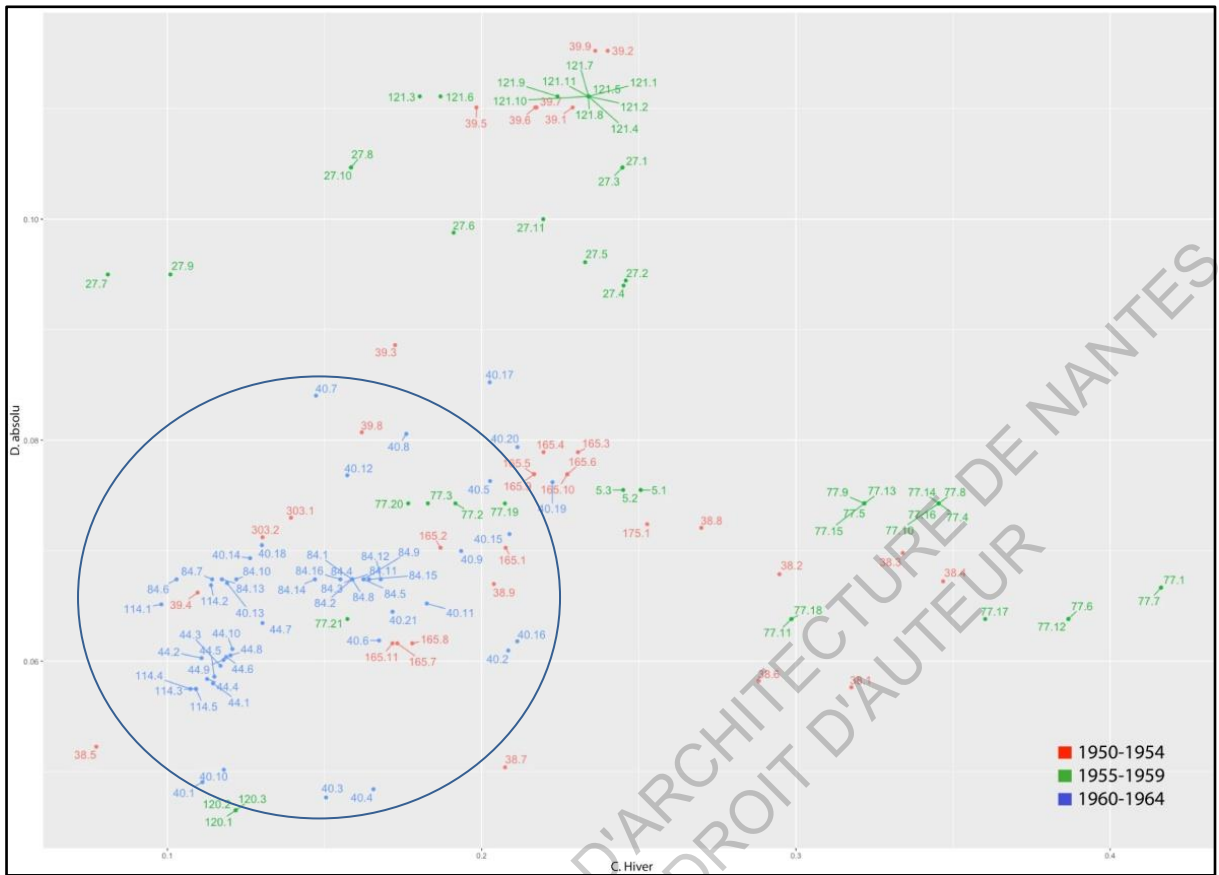


Figure 28a : Graphe du croisement entre la captation d'hiver et la déperdition, identifié par années

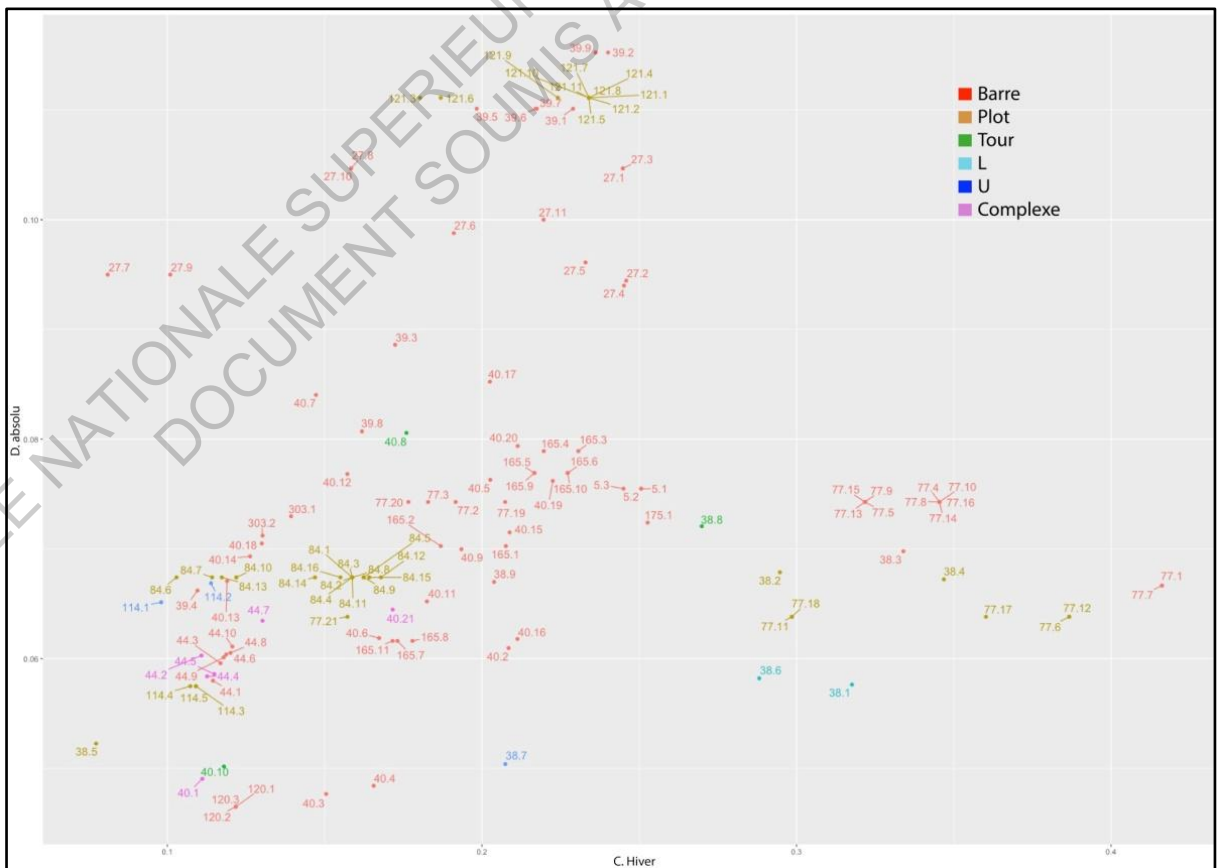


Figure 28b : Graphe du croisement entre la captation d'hiver et la déperdition, identifié par types

### 5.2.3. Rapport entre la captation d'hiver et l'inertie thermique

Il s'agit ici de repérer les bâtiments qui captent bien l'apport solaire en hiver tout en disposant d'une bonne capacité de stockage d'énergie.

Nous observons sur les graphes de la figure 30a et 30b, des bâtiments qui ont tendance à avoir des fortes masses volumiques avec des faibles captations (Quartier de la chancellerie-114, figure 29, Les bas coudrais-40) et des bâtiments ayant des bonnes capacités de captation avec des faibles masses volumiques, c'est le cas des projets 77-La citadelle et 38-Résidence Fernand Pouillon. La majeure partie des projets s'articule autour d'une captation d'hiver et d'une inertie thermique tous deux assez faibles.

Les bâtiments des années 1960-1964 sont dispersés tout au long de l'axe de l'inertie ; ce sont les seuls bâtiments à dépasser la moyenne et à avoir une forte inertie. Par contre, il n'y a pas de tendance particulière liée aux types de bâtiments. Les plots qui ont tendance à être plus inerte ne le sont pas plus que les barres et tours car ils sont assez dispersés sur le graphe. D'une manière globale, nous constatons l'absence de bâtiments qui auraient tendance à bien capter l'apport solaire en hiver tout en ayant des fortes masses volumiques pour pouvoir stocker l'énergie.



**Figure 29** : Vue d'ensemble du projet 114- Quartier de la chancellerie- disposant d'une bonne inertie thermique grâce à sa masse volumique élevée

**Source** : Architecture d'Aujourd'hui - 1965 - n°120 - p. 18

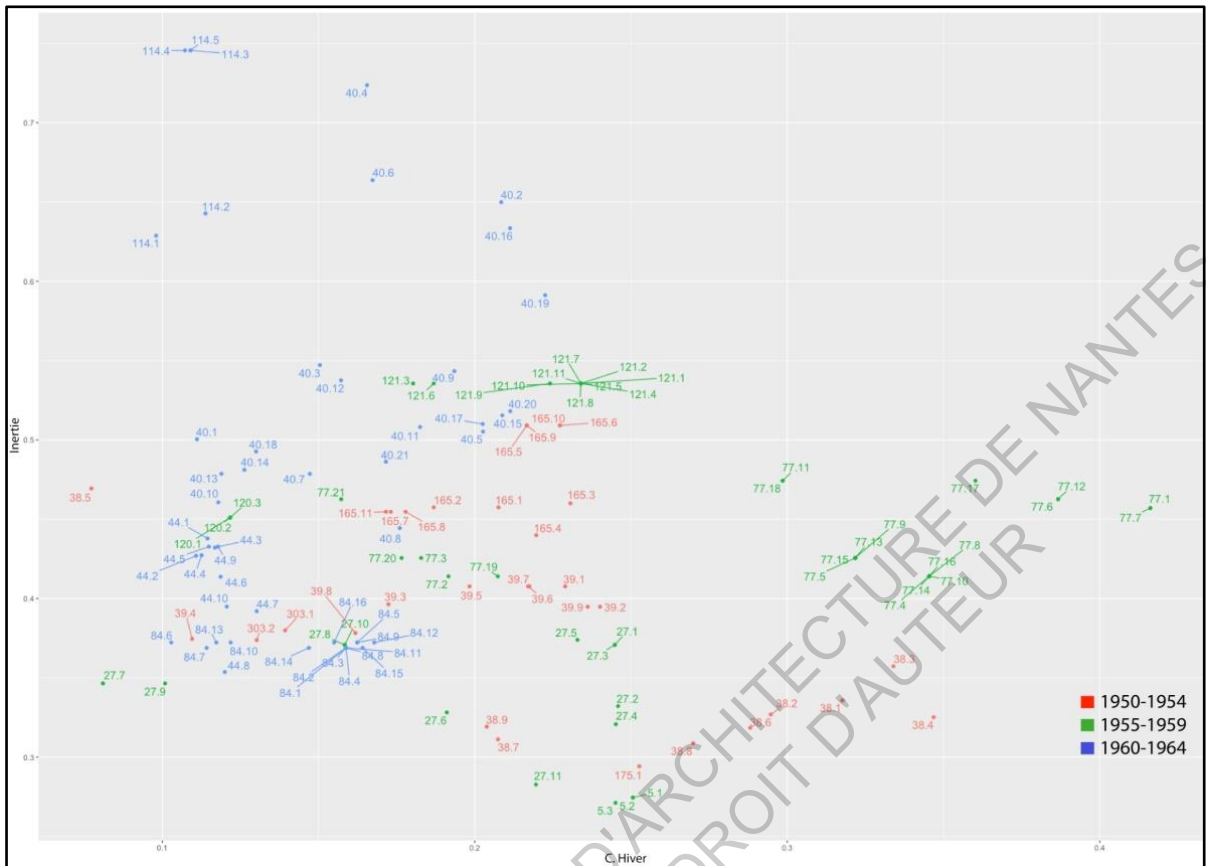


Figure 30a : Graphe du croisement entre la captation d'hiver et l'inertie thermique, identifié par années

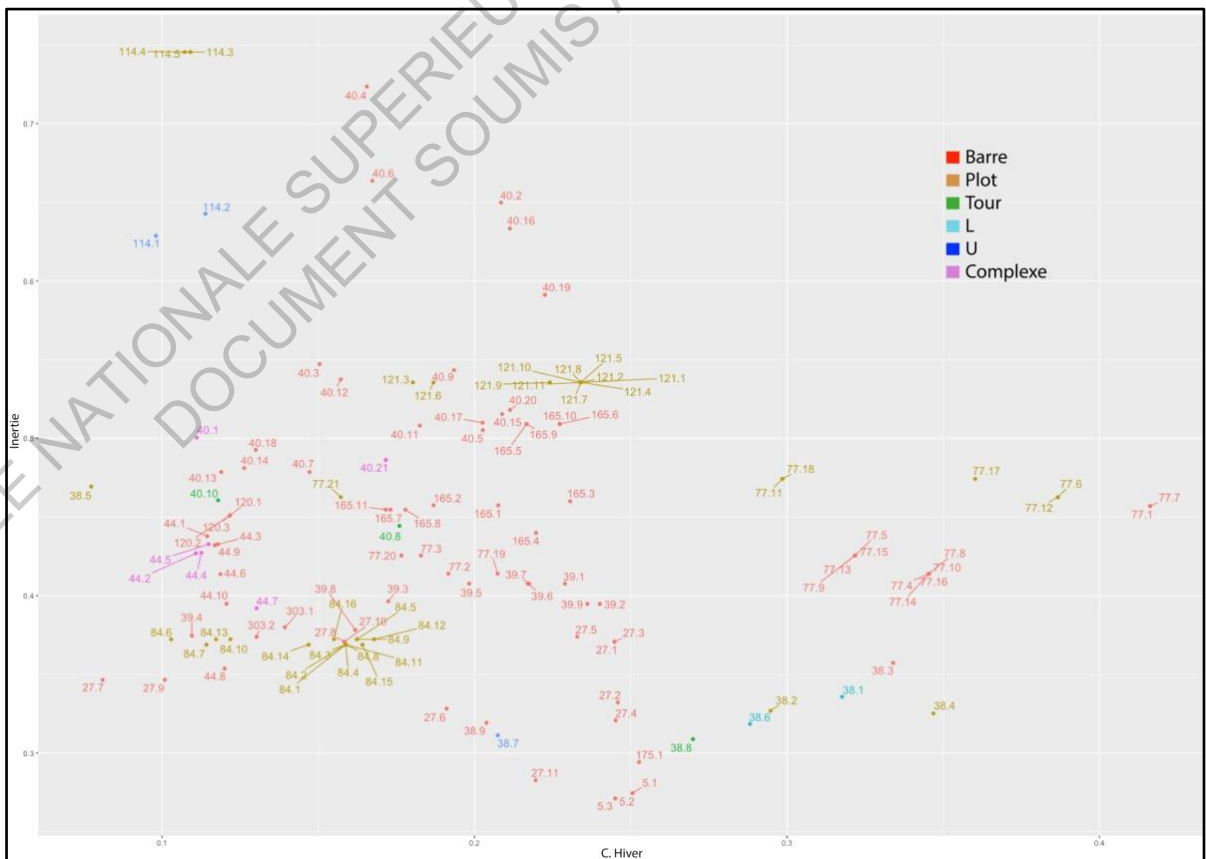


Figure 30b : Graphe du croisement entre la captation d'hiver et l'inertie thermique, identifié par types



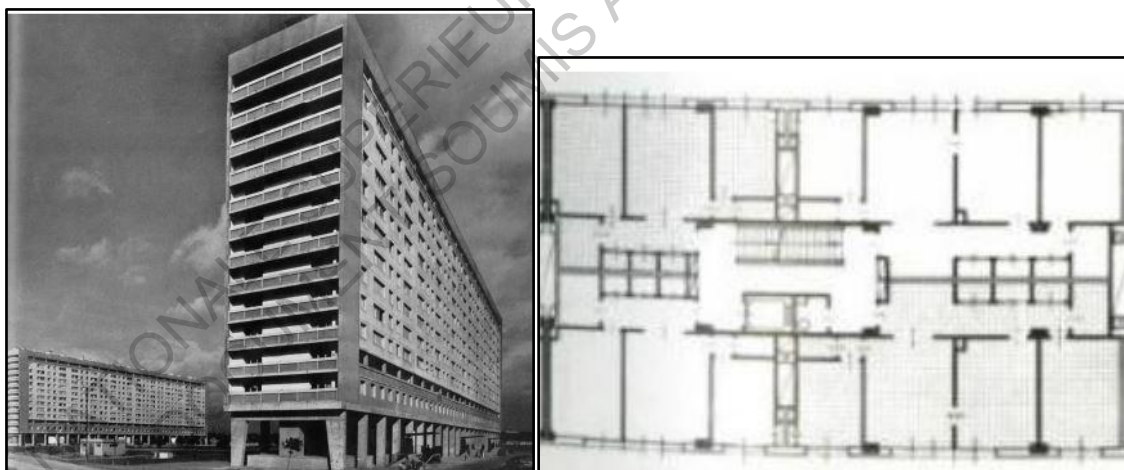
#### 5.2.4. Rapport entre la captation d'été et la ventilation naturelle

Nous avons étudié ce lien entre captation d'été et ventilation naturelle traversante pour voir la possible existence de bâtiments disposant d'un risque potentiel de surchauffe en été mais avec une bonne perméabilité à la ventilation naturelle.

A partir des graphes 32a et 32b, nous remarquons que la quasi-totalité des projets dispose des logements perméables à la ventilation naturelle peu importe le risque potentiel de surchauffe. Il n'y a que le projet 120-Cité des provinces françaises (figure 31), qui semble présenter un fort risque de surchauffe à cause de l'imperméabilité au vent de ses appartements.

Ici aussi, il n'y a pas de tendance particulière qui peut être liée aux années de constructions et aux types des bâtiments sauf les projets des années 1960-1964 qui sont regroupés entre eux avec un risque de surchauffe assez faible en plus d'avoir des logements traversants ; ce qui est intéressant.

En bref, dans l'échantillon étudié, la majorité des bâtiments ont des logements perméables à la ventilation naturelle traversante peu importe le risque de surchauffe qui peut exister en été. Cependant, il faut que ces mêmes bâtiments soient étudiés pour savoir s'ils peuvent bénéficier des vents dominants d'été en fonction de leurs expositions.



**Figure 31** : Vue d'ensemble et plan partiel du projet 120 - Cité des provinces françaises - confronté à un fort risque de surchauffe à cause de l'imperméabilité au vent de ses logements

**Source** : Architecture d'Aujourd'hui - 1957 - n°74 - p. 16

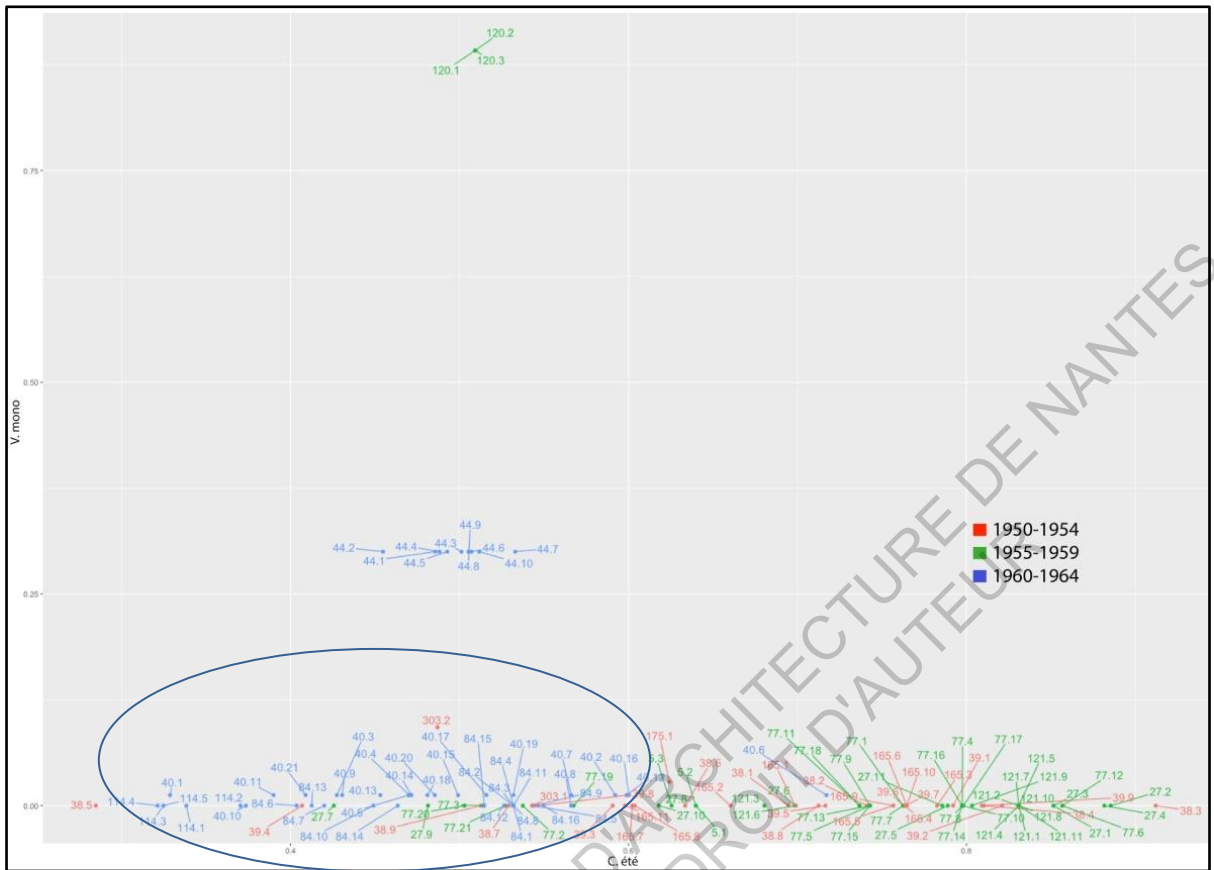


Figure 32a : Graphe du croisement entre la captation d'été et la ventilation, identifié par années

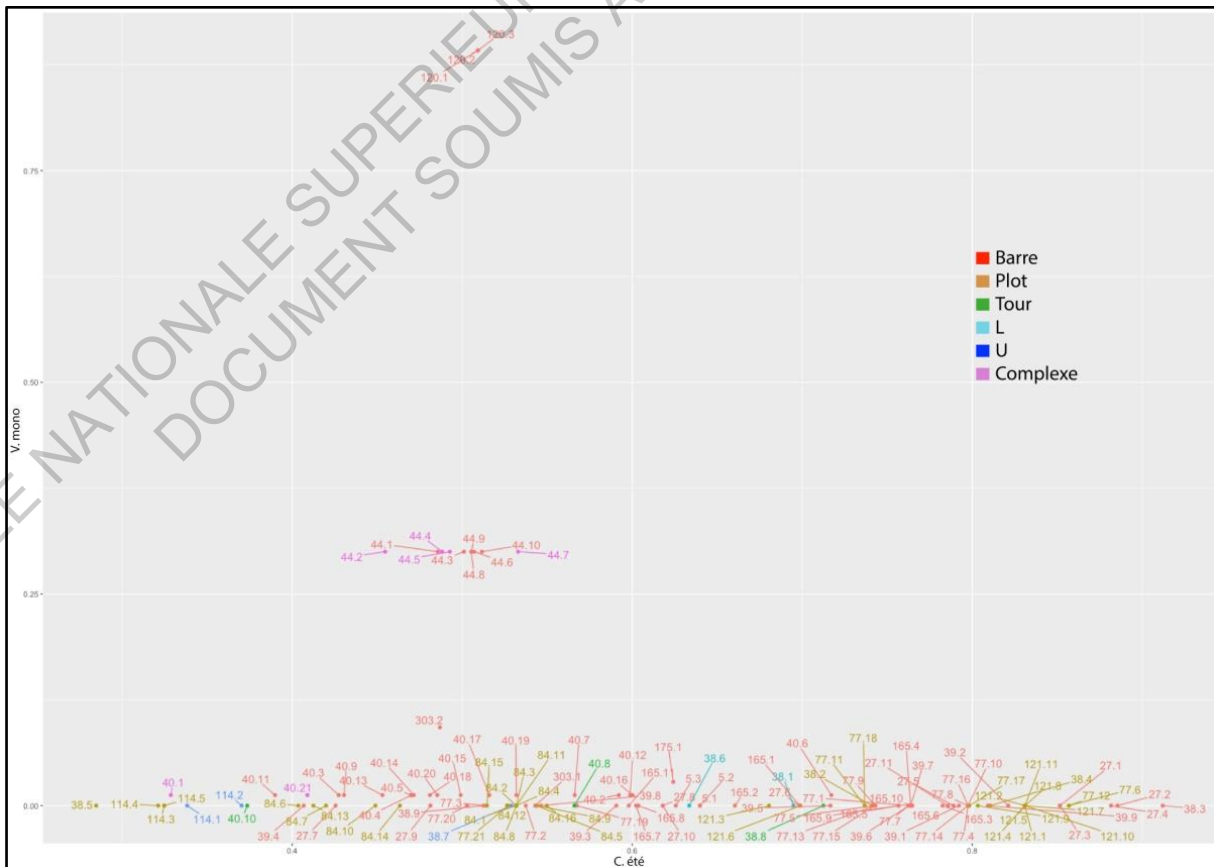


Figure 32b : Graphe du croisement entre la captation d'été et la ventilation, identifié par types

### 5.2.5. Rapport entre l'inertie thermique et la déperdition

À travers ce lien entre l'inertie thermique et la déperdition, nous voulons savoir s'il y a des bâtiments qui sont prédisposés à avoir une bonne capacité thermique et un indice de déperdition bas simultanément.

Dans les graphes des figures 33a et 33b ci-dessous, les projets sont assez dispersés et ne présentent pas des tendances bien visibles. Il y a des projets tels que le 114-Quartier de la chancellerie et le 40-Les bas coudrais qui comportent des bâtiments exceptionnels avec une masse volumique élevée tout en ayant un indice de déperdition relativement bas. A part ceux là, nous pouvons observer que la plupart des bâtiments ont une inertie assez basse tout en étant peu déperditifs, à l'instar du projet 121-Les buffets, qui semble très déperditif.

Il n'y a pas de tendance particulière en fonction des années de construction et des types de bâtiments. Les bâtiments n'ont pas été pensés pour avoir une bonne inertie avec un faible indice de déperdition. En résumé, l'échantillon étudié ne présente pas majoritairement des bâtiments qui auraient tendance à avoir une masse volumique élevée pour stocker l'énergie tout en ayant un indice de déperdition bas sauf certains bâtiments des années 1960-1964 qui sont plus lourds que les restes des projets.

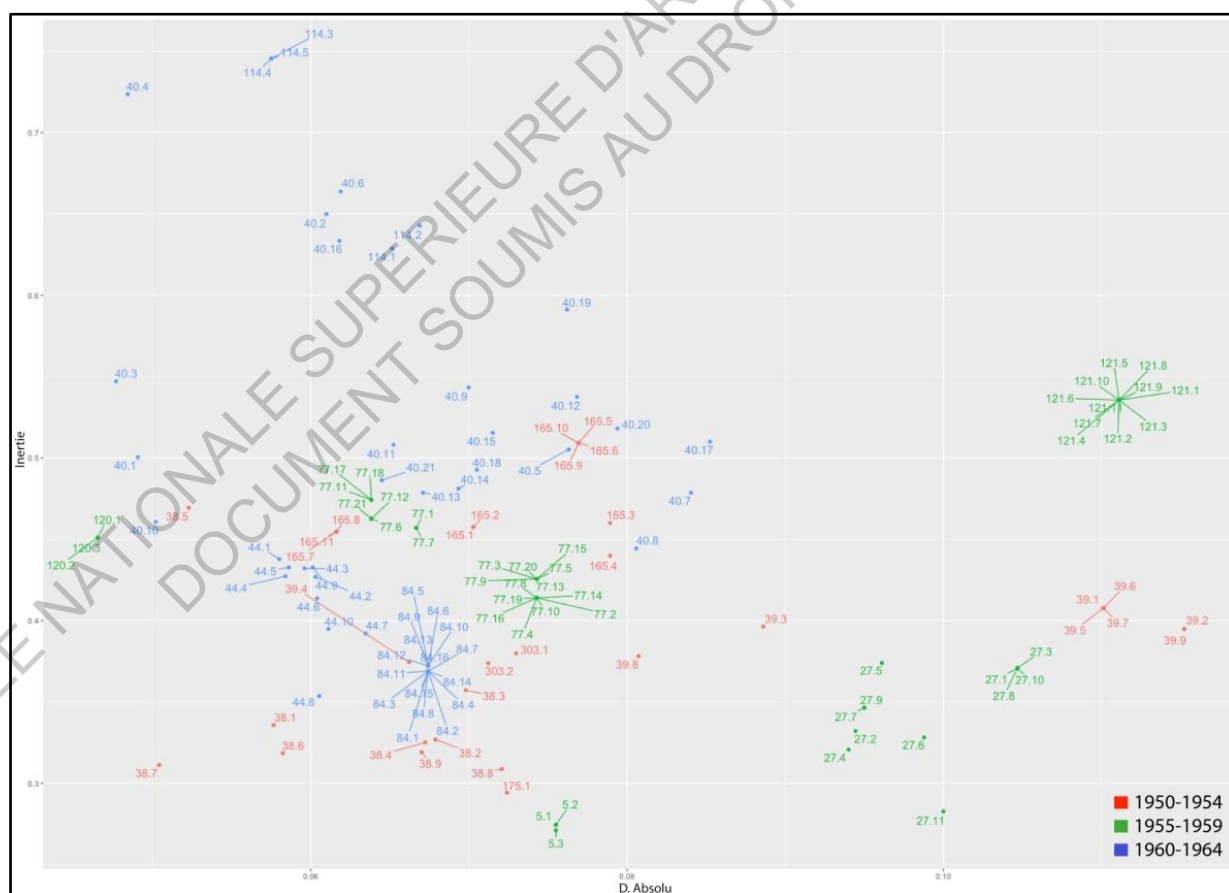


Figure 33a : Graphe du croisement entre l'inertie thermique et la déperdition, identifié par années

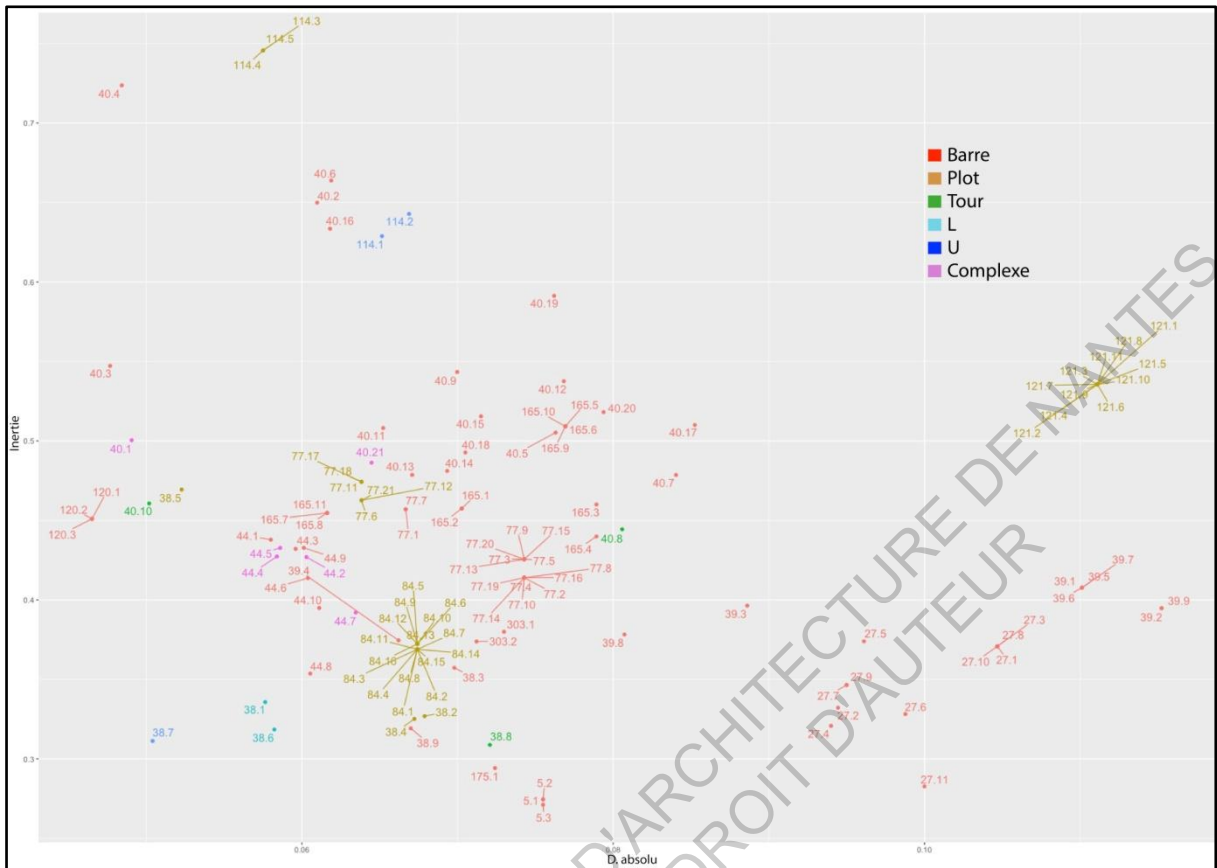


Figure 33b : Graphe du croisement entre l'inertie thermique et la déperdition, identifié par types

### 5.3. Point de vue global de l'analyse factorielle

Nous avons dans la figure 34 le clustering en 6 groupes sur l'ensemble des résultats, grâce à quoi nous allons analyser des caractéristiques plus complexes autres que ceux que nous avons décrits jusqu'à présent. Nous avons établi des projections dans un espace multidimensionnel qui nous a permis de ressortir les différents groupes probables. En effet, nous avons 4 grands groupes et 1 tout petit, tous liés en fonction de la captation d'hiver, la captation d'été, la déperdition, l'inertie thermique et l'imperméabilité au vent, selon que ça soit plus ou moins captatifs, plus ou moins imperméables au vent, de type barre/plot etc.

Les plots se situent plutôt en bas, les barres en haut, les plus captatifs à gauche, les moins captatifs à droite et les plus perméables au vent à gauche. Nous avons en haut à gauche des projets très captatifs en hiver, un peu moins en été et 100% traversant. Nous prenons l'exemple de la citadelle-77 (figure 35) qui se justifie grâce à son meilleur taux de vitrage tout en étant compact et éloigné des ombres propres des autres bâtiments. Ses bâtiments captent bien l'apport solaire en hiver tout en présentant des indices de déperdition assez bas : c'est qui semble être un bon point car c'est des bâtiments très compacts avec une organisation

intérieure favorisant la ventilation naturelle traversante et ayant moins de dispositifs architecturaux. Ce projet des années 1955-1959 est énormément plus captatif que le projet 114-Quartier de la chancellerie (figure 36) qui se situe dans le groupe en bas à droite du cluster. Cette forte différence nous laisse penser à un changement profond d'architecture à partir des années 1960, probablement à cause d'une diminution des surfaces des fenêtres ou des types d'ouvertures, ou encore la généralisation des dispositifs constructifs qui diminuent le taux de captation. Même s'ils correspondent à la période d'émergence des notions en bioclimatisme, ils sont pourtant les moins captatifs en hiver.

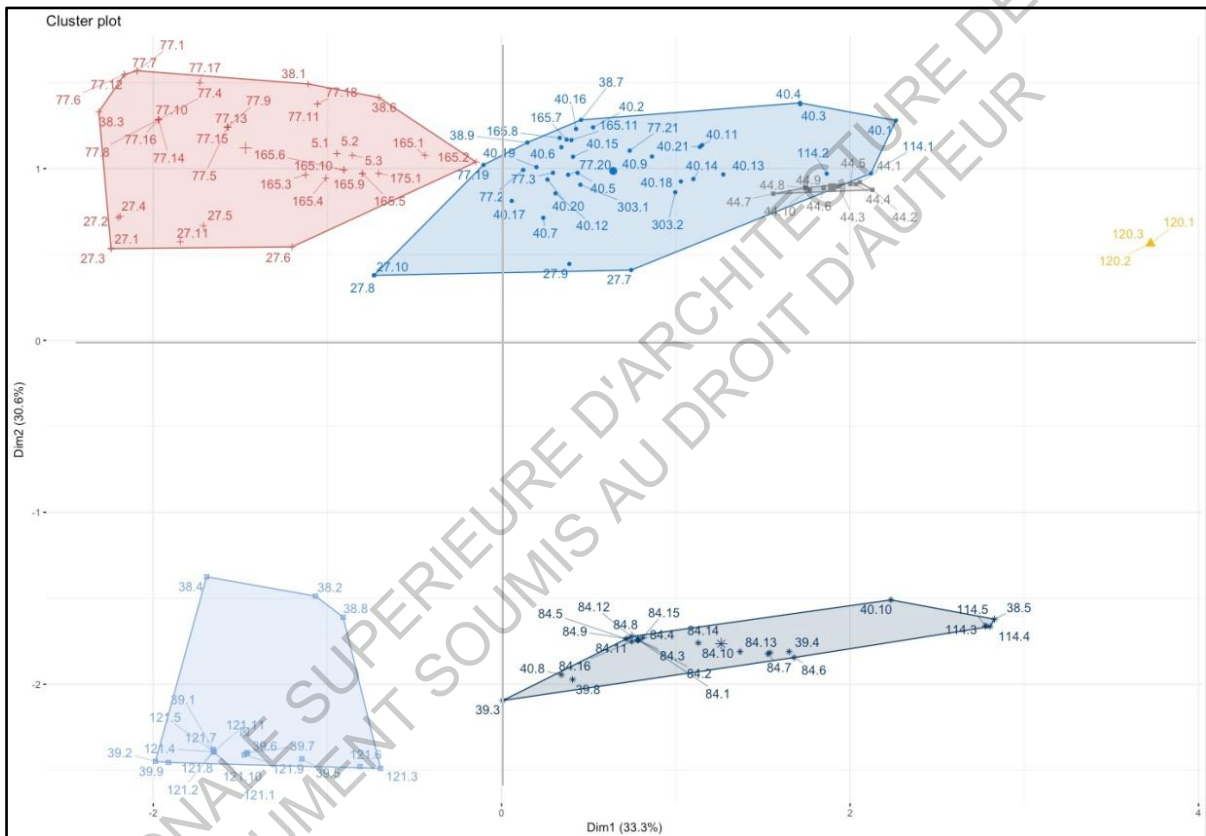


Figure 34 : Clustering en 6 groupes sur l'ensemble des données



**Figure 35** : Vue d'ensemble de la citadelle-77

**Source** : Corpus Smart French

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## Conclusions générales

Le but de ce travail était de savoir comment nous pouvions qualifier les bâtiments des Trente glorieuses du point de vue des caractéristiques bioclimatiques. Nous avons donc tenté de comprendre les conditions formelles et constructives qui pourraient favoriser un fonctionnement bioclimatique des logements (gestion de l'énergie, des flux solaires et de la ventilation naturelle). Nous nous sommes focalisés sur des paramètres bien définis que sont les potentialités bioclimatiques propres aux logements collectifs présents dans le corpus du projet de recherche Smart French, et ce dans la perspective de constituer une connaissance approfondie de ces ensembles de logements de l'après-guerre. Alors, comment pouvons-nous qualifier les bâtiments des Trente glorieuses du point de vue des caractéristiques bioclimatiques ?

Afin de répondre à notre problématique, nous avons construit des indicateurs adaptés au corpus. Ces derniers nous ont permis de faire une approche statistique sur quatorze projets de la base de données Smart French, préalablement sélectionnés à travers les études effectuées sur les orientations solaires et la quantité d'informations disponibles. L'établissement de ces indicateurs a porté sur la caractérisation des potentialités des logements collectifs à capter l'énergie solaire, la stocker dans leurs dispositifs constructifs, et à profiter de la ventilation naturelle traversante. Cependant, il faut garder à l'esprit que ça a été délicat et que nous n'avons pas pu analyser les 308 projets de la base parce que l'objectif était de mettre en place les indicateurs et les tester sur un échantillon donné. Il y a plusieurs indicateurs possibles, par conséquent notre but n'était pas de les approfondir, mais plutôt de les mettre en place d'une manière plus générale et plus simple à calculer, afin qu'ils permettent d'analyser avec un peu plus de temps, l'ensemble de la base de données.

Les résultats des indices ont fait l'objet d'une analyse factorielle sous le logiciel R Studio, ce qui nous a permis d'avoir des graphes mettant en lien les différents résultats des indicateurs. Pour répondre à notre question initiale sur les potentialités bioclimatiques de ces bâtiments d'après-guerre, et à partir des éléments à notre disposition, nous en convenons qu'il n'y a pas d'influences bioclimatiques ou de démarches bioclimatiques ; il n'y a pas non plus de qualités bioclimatiques dans ces bâtiments.

Ceci dit certains bâtiments sont assez propices à un fonctionnement bioclimatique, mais il peut y avoir d'autres raisons qui peuvent expliquer leurs présences car nous ne pensons pas que ça soit intentionnel. Cela peut être dû à un possible héritage hygiéniste en parti lié aux questions d'éclaircements et de ventilation traversante, ou plutôt des habitudes de conception artisanale qu'il faudrait vérifier dans les discours des architectes car ces résultats méritent une discussion plus approfondie.

Du point de vue solaire, ils sont relativement neutres, mais du point de vue bioclimatique ils ne sont pas vraiment intéressants. Ce sont des bâtiments dont les qualités thermiques sont plutôt faibles, et qu'il faudra étudier comment les améliorer en termes de pourcentage de vitrage ou de protection solaire. Les architectes avaient d'autres priorités que celle des besoins

bioclimatiques des projets lors de leurs conceptions et de leurs constructions. Ainsi, ce ne sont pas vraiment des bâtiments qui étaient conçus en suivant des exigences bioclimatiques.

Toutefois, il faut savoir que cette étude n'a porté que sur 133 bâtiments, 580 façades et 5044 logements parmi une base de données immense de 308 projets constitués eux-mêmes d'une dizaine de bâtiment en moyenne chacun. Par conséquent, les résultats qu'on a obtenus sont relatifs et peuvent donner lieu à des approfondissements futurs afin de savoir vraiment la place du bioclimatisme dans les logements collectifs de l'après-guerre.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



## Liste des références bibliographiques

- ABRAM, Joseph, 2008. *Architecture de masse et plastique d'exception: la modernité triomphante des Trente glorieuses* [DVD]. Paris : Cité de l'architecture et du patrimoine.
- BARBER, Daniel A., 2016. *A house in the sun : modern architecture and solar energy in the cold war*. Oxford : Oxford University Press. 336 p. ISBN 9780199394012.
- BUTTENWIESER, Isabelle, CHEVET, Hélène, 1997. *Panorama des techniques du bâtiment 1947-1997*. Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). Paris : Plan Construction et Architecture. 335p. ISBN 2868912729
- CADASTRE, 2018. *Service de consultation du plan cadastral* [en ligne]. [Consulté le 27 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.cadastre.gouv.fr/scpc/accueil.do>
- CALSOL, 2018. *Logiciel CalSol-Gisement solaire* [logiciel]. Institut National de l'énergie solaire INES Education. [Consulté le 09 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <http://ines.solaire.free.fr/>
- CHÉMERY, Laure, DUCHÊNE-MARULLAZ, Philippe, 1987. *Atlas climatique de la construction*. Paris : Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). 182p. ISBN 2-905423-03-X
- CHESNÉ, Lou, 2012. *Vers une nouvelle méthodologie de conception des bâtiments, basée sur leurs performances bioclimatiques* [en ligne]. Lyon : L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, soumis le 24 mai 2013. [Consulté le 22/03/2018]. Thèse de doctorat. Disponible à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00825646/document>
- DOURGNON, Jean, CHAUVÉL, Pierrette, KOKKA Lia, 1961. Déterminations graphiques et mécaniques de l'ensoleillement. In *Cahiers du centre scientifique et technique du bâtiment*. Livraison n°51. Cahier n° 407. Août 1961.
- EL ALAMI, Karim, 2017. Les choix d'orientation solaire dans les grands ensembles de la reconstruction. Nantes : École Nationale d'Architecture de Nantes. Thèse de master.
- FERNANDEZ, Pierre, LAVIGNE, Pierre, 2009. *Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements & méthodes*. Paris : Le Moniteur Architecture. 430p. ISBN 9782281114546
- FERRUCCI, Margherita, 2017. *Ventilation naturelle en architecture : méthodes, outils et règles de conception* [en ligne]. Paris : Université de Paris-Est en cotutelle avec l'Università Ca' Foscari (Venise, Italie). Thèse de doctorat en Architecture. [Consulté le 05 juillet 2017]. Disponible à l'adresse : <http://www.theses.fr/2017PESC1080>
- FERRUCCI, Margherita, BROCATO, Maurizio, PERON, Fabio, 2018. Digital Tools for the Morphological Design of the Naturally Ventilated Buildings. *Future Cities and Environment 4(1): 6*, [en ligne]. 26 janvier 2018. 9p. [Consulté le 28 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <http://doi.org/10.5334/fce.4>

- FOURCAUT, Annie, 2010. Les grands ensembles, symbole de la crise urbaine. In : MEI, Duanmu, TERTRAIS, Hugues (dir.). *Temps croisés*. Éditions de la Maison des sciences de l'homme. Paris, pp. 197-209. ISBN 9782735112968
- GAUDARD, Valérie, MARGO-SCHWOEBEL, Florence, POUVREAU, Benoit, 2010. *1945-1975 : une histoire de l'habitat : 40 ensembles "Patrimoine du XXe siècle"*. Issy-les-Moulineaux : Beaux Arts magazine. 95p. ISBN 9782842788001
- KASSAMBARA, Alboukadel, 2017. Méthodes des Composantes Principales dans R: Guide Pratique-ACP - Analyse en Composantes Principales avec R: L'Essentiel. *Statistical Tools for High-Throughput Data Analysis* [en ligne]. 15/10/2017. [Consulté le 26 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.sthda.com/french/articles/38-methodes-des-composantes-principales-dans-r-guide-pratique/73-acp-analyse-en-composantes-principales-avec-r-l-essentiel/>
- LIÉBARD, Alain, 1996. *Guide de l'architecture bioclimatique : Haute qualité et développement durable : cours fondamental, tome 1 et 2, connaître les bases, construire avec le climat*. Hors série de Système solaire supplément au n°116 et 117. Paris : Comité d'action pour le solaire. 114p. ISBN 2-9501689-5-7
- LUCAN, Jacques, 2001. *L'architecture en France (1940-2000) : histoire et théories*. Collection Architectes, n°11. Paris : Le Moniteur. 375 p. ISBN 2-281-19146-X
- Météo-France, Direction de la climatologie, 2009. *Statistiques climatiques de la France 1971-2000*. Toulouse : Météo-France, Direction de la climatologie. 287p. ISBN 978-2110987181
- MUSY, Marjorie, MOLINES, Nathalie, PHAM, Trung, SIRET, Daniel et GROLEAU, Dominique, 2006. *ADEQUA : Aménagement durable d'un quartier. Elaboration d'une méthodologie d'aide à la décision lors de la réalisation ou de la réhabilitation d'un quartier résidentiel*. Nantes : Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes. Rapport final du CERMA-UMR CNRS 1563.
- NATIONAL TRUST FOR HISTORIC PRESERVATION, 2017. *He Saw the Future: George Fred Keck and the House of Tomorrow* [en ligne]. 04 Mai 2017. [Consulté le 12 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://savingplaces.org/stories/george-fred-keck-the-mastermind-behind-the-house-of-tomorrow#.W3RujM4zaM9>
- OLGYAY, Victor, 1973. *Design with climate : bioclimatic approach to architectural regionalism*. 3e éd. Princeton, New Jersey : Princeton University Press. 190 p. L.C. CARD: 61-7423
- PLUM, Gilles, 2011. *Architecture de la reconstruction*. Paris : Nicolas Chaudun. 287 p. ISBN 9782350391151
- ROTIVAL, Maurice, 1935. Les grands-ensembles. In : *L'architecture d'aujourd'hui*, vol. 1, n°6, p 56-72.

-SMART FRENCH *Le logement collectif de la seconde moitié du XXe siècle, au prisme de l'énergie, volet 1 : capitalisation des connaissances, diffusion des expériences* [document PDF]. Document interne au laboratoire CRENAU. [Consulté le 08 mars 2018]

-VAYSSIERE, Bruno, 1988. *Reconstruction déconstruction : le hard french ou l'architecture française des Trente glorieuses*. Paris : Picard. 327 p. ISBN 2-7084-0375-3

-VOLDMANN, Danièle, 2011. L'architecture de la reconstruction et des Trente Glorieuses [enregistrement vidéo]. *Dailymotion* [www.dailymotion.com](http://www.dailymotion.com) [en ligne]. 05 juin 2011. [Consulté le 30 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.dailymotion.com/video/xmtqrw>

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## Annexes

Nous exposons ci-dessous les détails des indicateurs qui n'ont pas fonctionné car inadaptés à notre échantillon, puis les résultats complets de l'analyse factorielle sous forme de cluster et de graphes, et enfin le tableau d'analyse Excel du corpus qui nous a permis de calculer les indicateurs sur l'échantillon étudié.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

## LES INDICATEURS QUI N'ONT PAS FONCTIONNÉ CAR INADAPTÉS À NOTRE ECHANTILLON

### Captation de l'apport solaire :

Nous avons eu des variantes d'indicateurs que nous avons dû retirer car elles ne reflétaient pas la réalité en termes de captation. On peut citer notamment l'indice relatif C pour lequel il fallait calculer l'indice maximal C pour ce même bâtiment afin d'avoir une idée de sa capacité de captation. Pour calculer cet indice maximal C, nous mettons 100% de vitrage à la place du vrai pourcentage de vitrage pour chaque bâtiment et nous excluons tout type de masque ou d'ombre propre. C'est comme si chaque bâtiment était totalement vitré et qu'il recevait tout l'apport solaire possible selon l'orientation spécifique de ses façades sans ombres propres ni masques. Et pour trouver le ratio relatif de l'indice C, nous divisons tout simplement l'indice absolu C par son indice maximal comme dans l'exemple de la figure ci-dessous.

Si nous interprétons ce dernier, nous pouvons dire que le premier bâtiment capte 32% de l'apport solaire maximal qu'il pouvait capter en hiver ; valeur que nous allons comparer par rapport au MAX et au MIN de l'échantillon étudié pour savoir si c'est élevé ou assez bas. Or c'est un pourcentage relatif qui ne peut pas être comparé.

Indice C absolu(en kWh/m <sup>2</sup> /jour))		Indice C maximal (en kWh/m <sup>2</sup> /jour))		RATIO relatif de l'indice C en %	
Indice C Hiver	Indice C Été	Indice C Hiver	Indice C Été	Hiver	Été
0,251	0,629	0,773	2,156	32 %	29 %
0,213	0,718	0,798	2,617	26 %	27 %
0,215	0,752	1,025	3,255	21 %	23 %

Un exemple de résultats de l'indice C absolu, maximal et leur ratio

### Déperdition :

Nous avons tenté ici aussi d'utiliser une variante d'indicateur qui n'a pas fonctionné et que nous avons retiré à savoir l'indice de déperdition D relative qui a les mêmes principes que l'indice relative C.

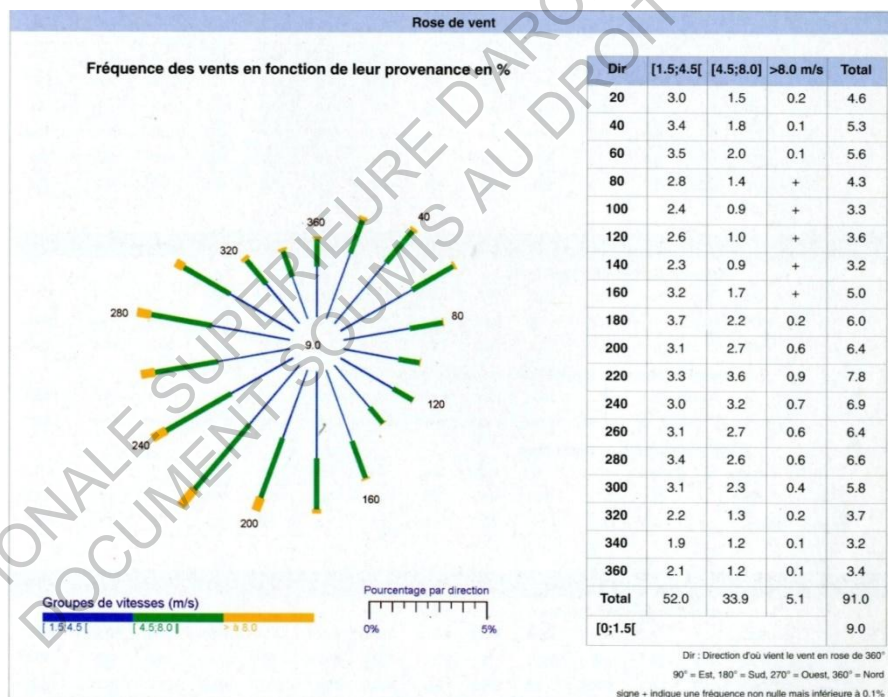
### Ventilation

- 1er indicateur : Dans un premier temps, nous définissons la direction des vents dominants selon la région dans laquelle le projet se situe. Pour cela, nous nous référons à l'Atlas Climatique de la Construction (Chémery, Duchêne-Marullaz, 1987) que nous combinons et

détaillons avec les données disponibles dans l'ouvrage Statistiques climatiques de la France 1971-2000 (Météo-France, Direction de la climatologie, 2009) qui sont plus récentes et plus élaborées. Pour expliquer comment nous avons défini l'angle des vents dominants de chaque région, nous allons prendre l'exemple dans la figure ci-dessous.

Nous nous référons d'abord à la fréquence des vents en fonction de leur provenance (exprimé en %) et en fonction de cette dernière, nous définissons l'angle le plus fort qui regroupe au moins 50% des vents inversement des deux côtés. Il faut noter que si l'atlas ne définit pas la rose de vent de la ville étudiée, nous prenons en compte celle de la ville la plus proche.

A titre d'exemple, pour le cas de la ville du Havre figure ci-dessous nous avons 6,4% de vents qui proviennent de la direction orientée à 200° (avec 0° et 360° axé au Nord) et 4,6% au sens inverse ; soit un total de 11% de vent jusqu'à là. Puis, nous avons 7,8 % de vents provenant de la direction orientée à 220° et 5,3% au sens inverse ; soit un total de 24,1% des vents. Puis, nous continuons d'additionner la fréquence en % des vents orientés 240°--60°, ensuite 260°-- 80° ; jusqu'à là nous obtenons 47,3% des vents, ce qui n'est pas encore suffisant. Nous ajoutons donc la fréquence des vents orientée 280°--100°. Nous disposons finalement d'une fréquence totale de 57,2%, ce qui nous permet de définir l'angle des vents dominants au Havre qui s'étale entre 280° et 200° et inversement entre 20° et 100°.



La rose de vent de la ville de Rouen, Seine-Maritime (76)

Source : (Météo-France, Direction de la climatologie, 2009, p.197)

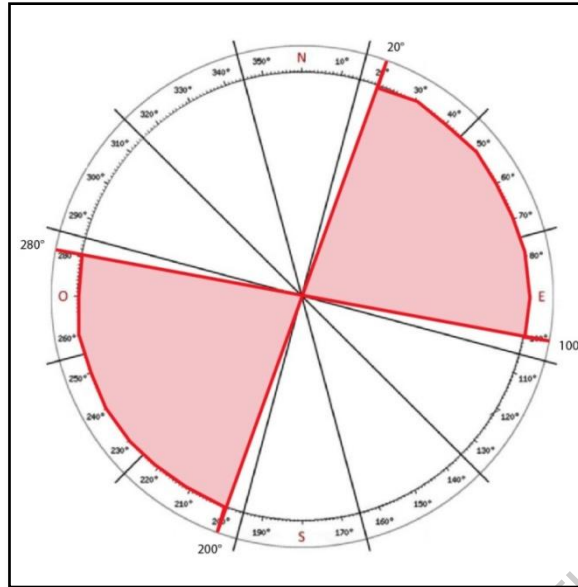


Schéma montrant la direction des vents dominants au Havre

- 2ème indicateur : Après avoir déterminé la direction des vents dominants de la région, nous définissons dans un second temps, un coefficient de vent reçu par le bâtiment avec beaucoup plus de précision. Pour cela, nous pondérons le pourcentage de vent reçu par chaque façade du bâtiment avec leur pourcentage linéaire respectif. Donc le coefficient de vent reçu par le bâtiment est égal à leur somme en tenant compte de toutes les façades. Il se présente sous cette forme :

$$\text{Coefficient de vent reçu par le bâtiment} = \sum [ \% \text{ de vent reçu par la façade} \times \% \text{ linéaire} ]$$

Dans l'exemple du tableau de la figure ci-dessous, il s'agit d'un bâtiment qui se situe au Havre, disposant de quatre façades orientées selon l'exposition définie dans le tableau. Après avoir déterminé le pourcentage de vent reçu par chaque façade, nous le pondérons par leur pourcentage linéaire respectif qui caractérise la longueur exacte des façades et qui nous permet de refléter leurs contributions exactes. Suite à cela, nous additionnons le pourcentage réel de contribution de chaque façade pour déterminer le coefficient de vent reçu par le bâtiment.

Coefficient de vent reçu par le bâtiment	N Façade	Exposition (°)	% Linéaire	Pourcentage de vent reçu par la façade (en %)
13,31%	1	157,50	41,00%	14,20%
	2	247,5	9,00%	21,10%
	3	337,5	41,00%	10,30%
	4	67,5	9,00%	15,20%

Un exemple de résultat pour le pourcentage linéaire total de vent reçu par le bâtiment





C. été

0.8

0.6

0.4

0.1

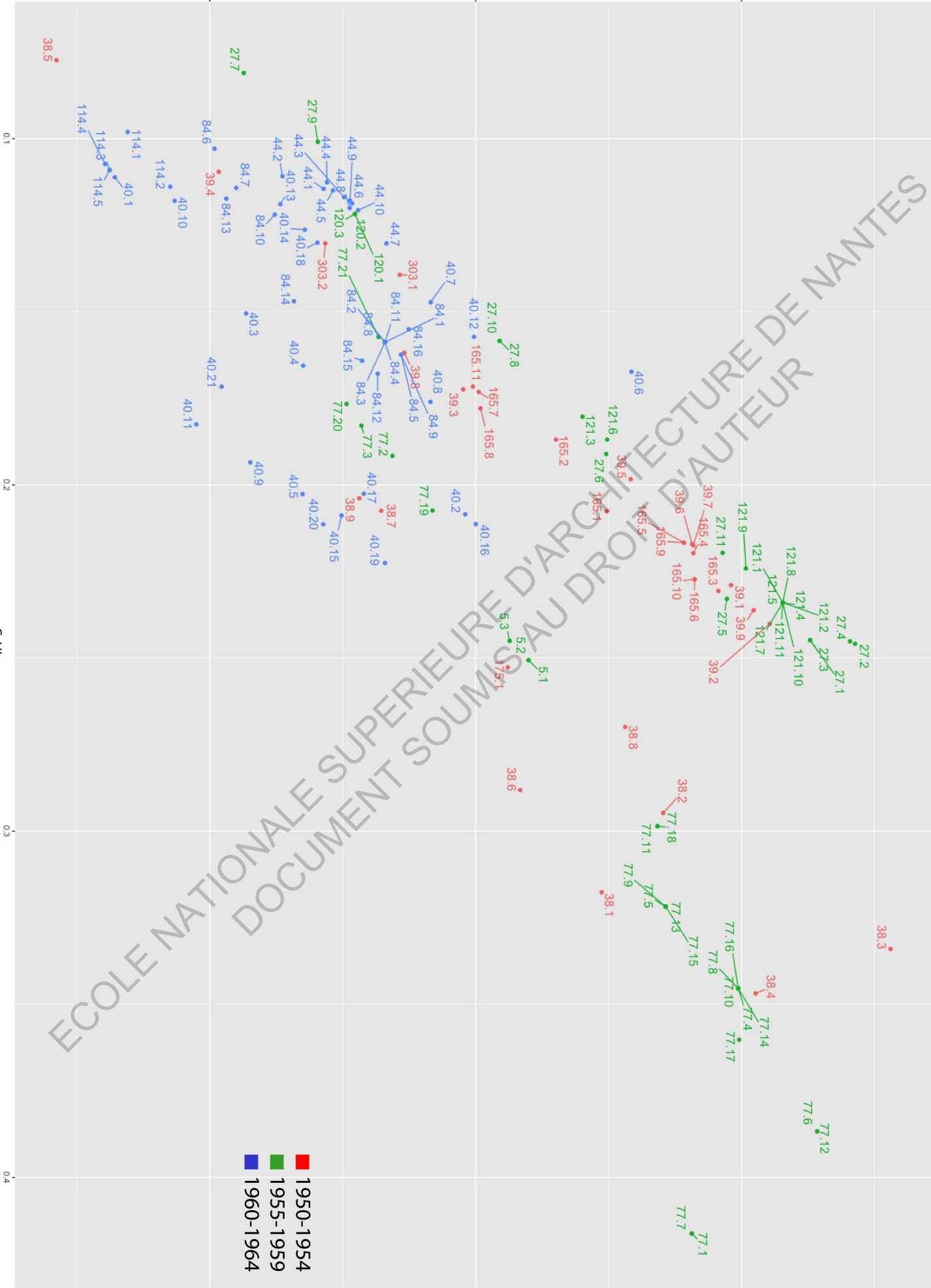
0.2

0.3

0.4

- 1950-1954
- 1955-1959
- 1960-1964

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



38.5

27.7

114.4  
114.3  
114.5  
114.1  
40.1

84.6  
39.4  
84.7  
84.13  
40.10  
114.2  
40.10

44.4  
44.3  
44.2  
44.1  
40.13  
40.14  
84.10  
40.18  
84.14  
40.4

44.9  
44.8  
44.6  
44.5  
120.3  
77.21  
84.2  
84.15  
77.20  
40.3  
40.21  
40.11

44.10  
44.7  
303.1  
84.1  
84.16  
39.8  
84.5  
84.4  
84.3  
77.2  
40.17  
38.7  
40.19

40.7  
84.1  
40.8  
84.9  
39.3  
77.19  
40.2  
40.16

27.10  
165.7  
165.8  
165.11  
39.5  
121.6  
121.3  
165.2

40.6  
121.9  
121.1  
121.8  
121.4  
121.10  
121.5  
121.11  
121.7

27.2  
27.4  
27.1  
121.2  
27.3  
27.5  
39.1  
39.9  
39.2

38.3  
38.4  
77.14  
77.17  
77.11  
77.7

38.8  
38.2  
77.18  
77.11  
77.5  
77.9  
38.1

77.16  
77.8  
77.10  
77.15  
77.19  
77.12  
77.6

5.3  
5.2  
5.1  
17.1  
17.1

165.5  
165.9  
165.10  
165.6  
165.4  
39.7  
39.6

27.11  
165.3  
27.5  
121.9  
121.1  
121.8  
121.4  
121.10  
121.5  
121.11  
121.7

38.3  
38.4  
77.14  
77.17  
77.11  
77.7

38.8  
38.2  
77.18  
77.11  
77.5  
77.9  
38.1

77.16  
77.8  
77.10  
77.15  
77.19  
77.12  
77.6

5.3  
5.2  
5.1  
17.1  
17.1

165.5  
165.9  
165.10  
165.6  
165.4  
39.7  
39.6

C. été

0.8

0.6

0.4

0.1

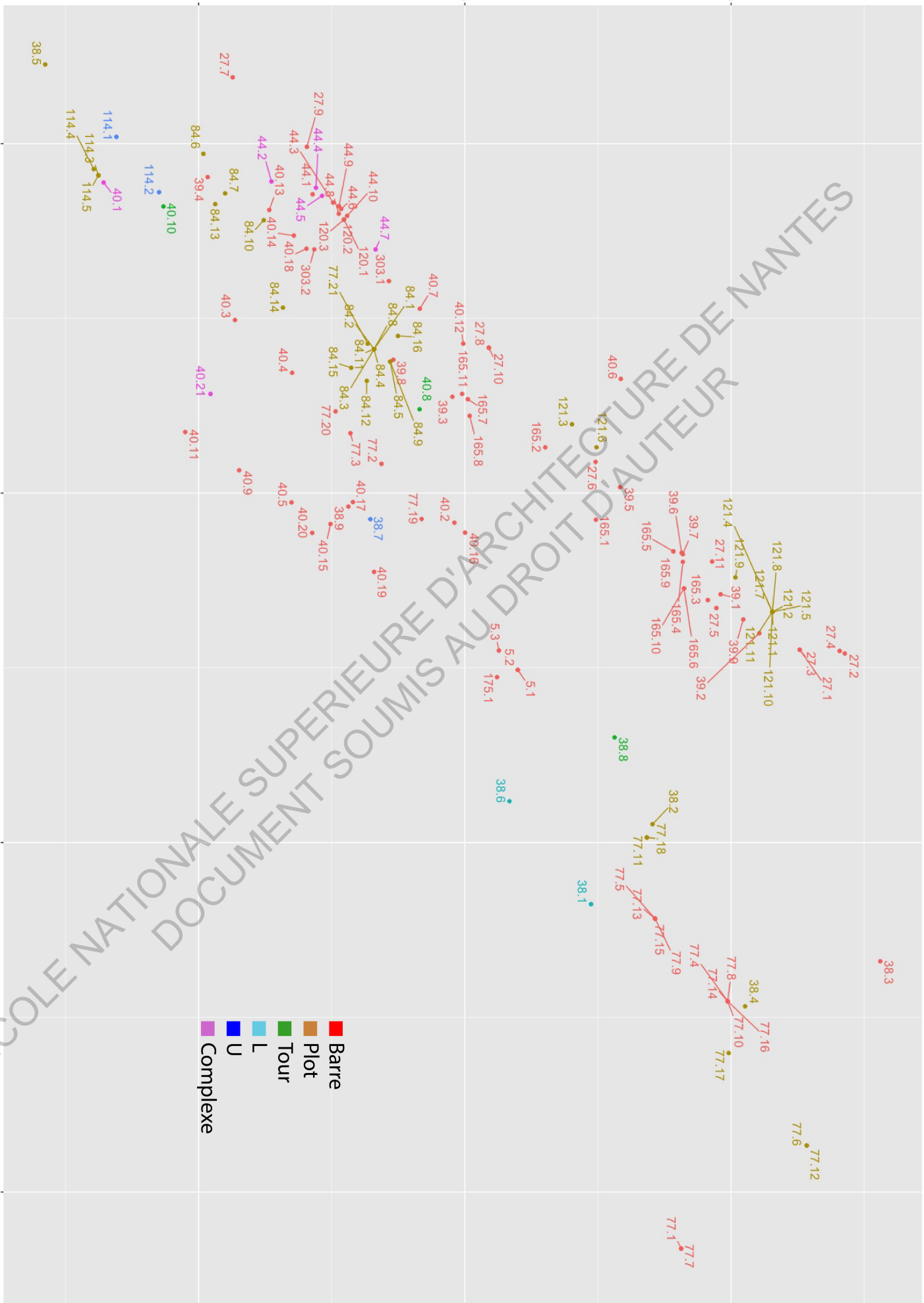
0.2

0.3

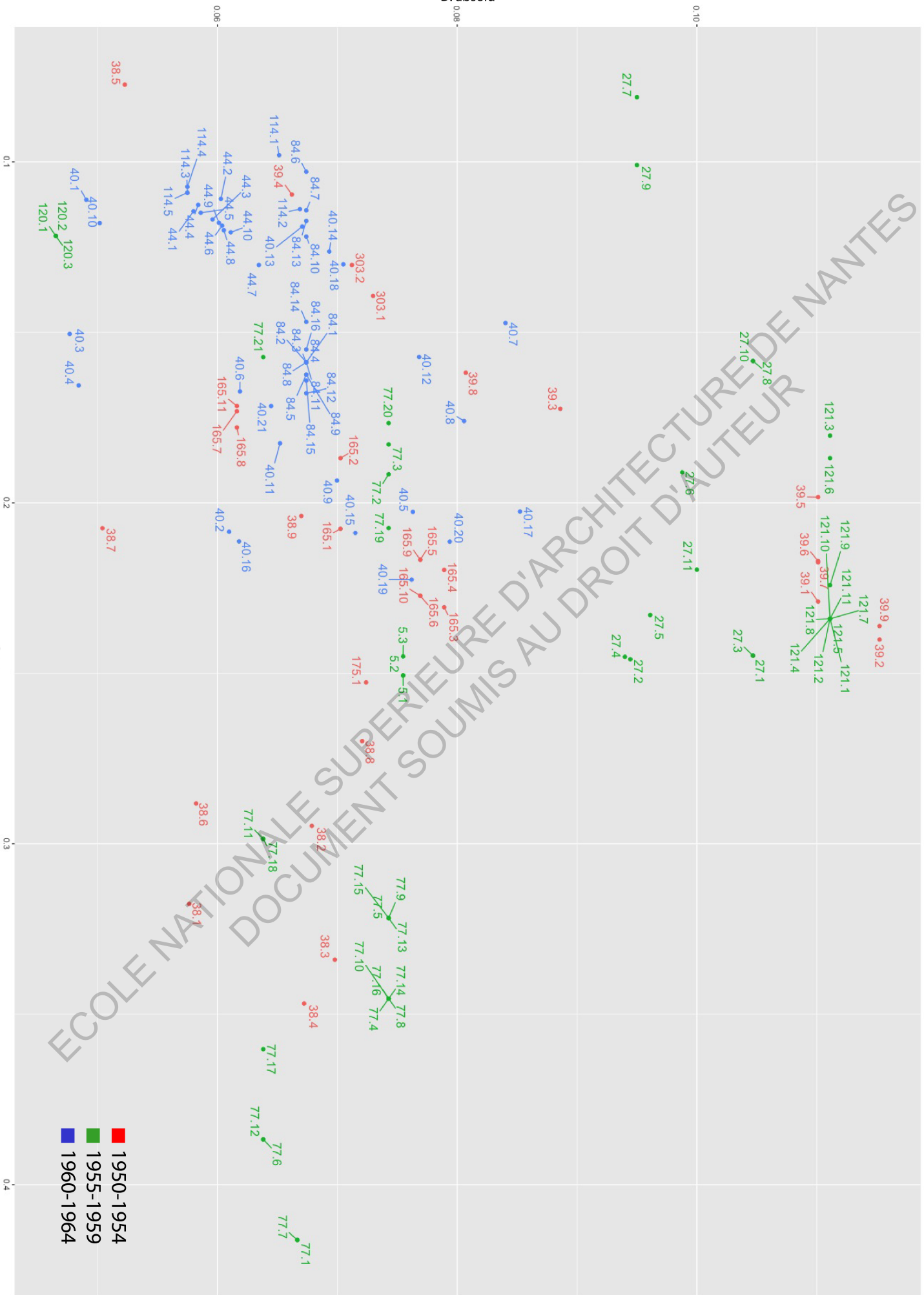
0.4

C. Hiver

- Barre
- Plot
- Tour
- U
- L
- Complexe

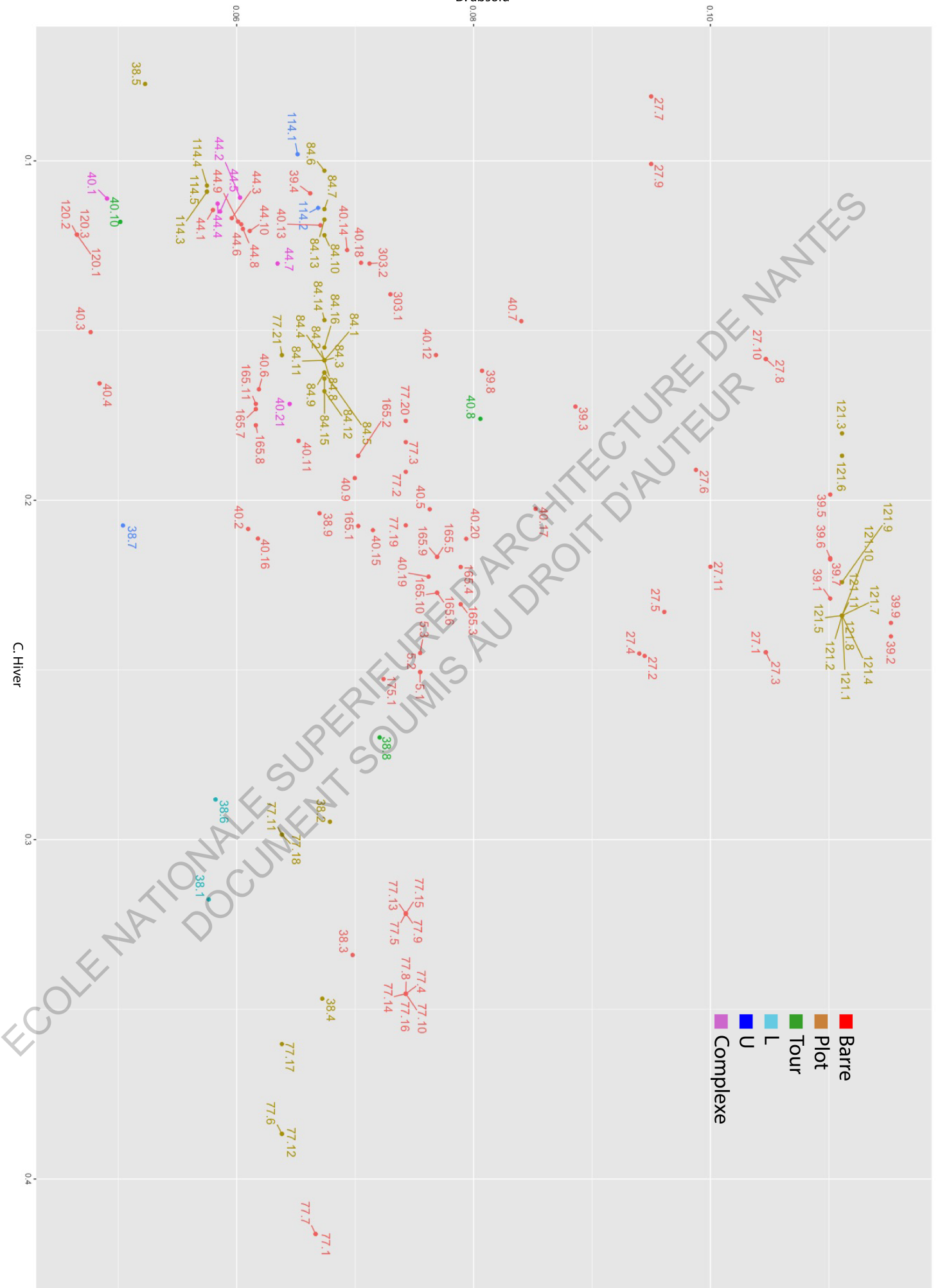


D. absolu



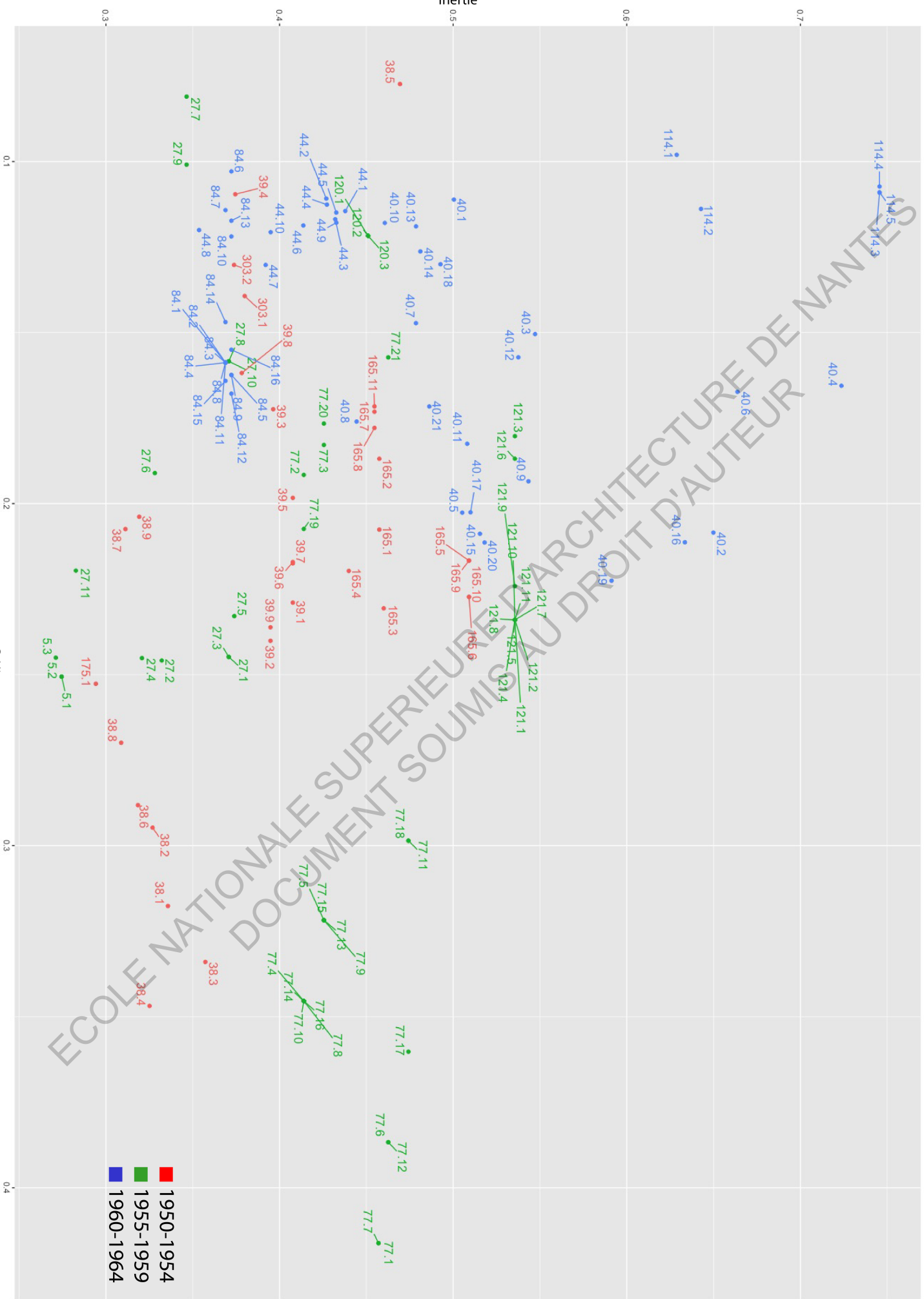
C. Hiver

D. absolu



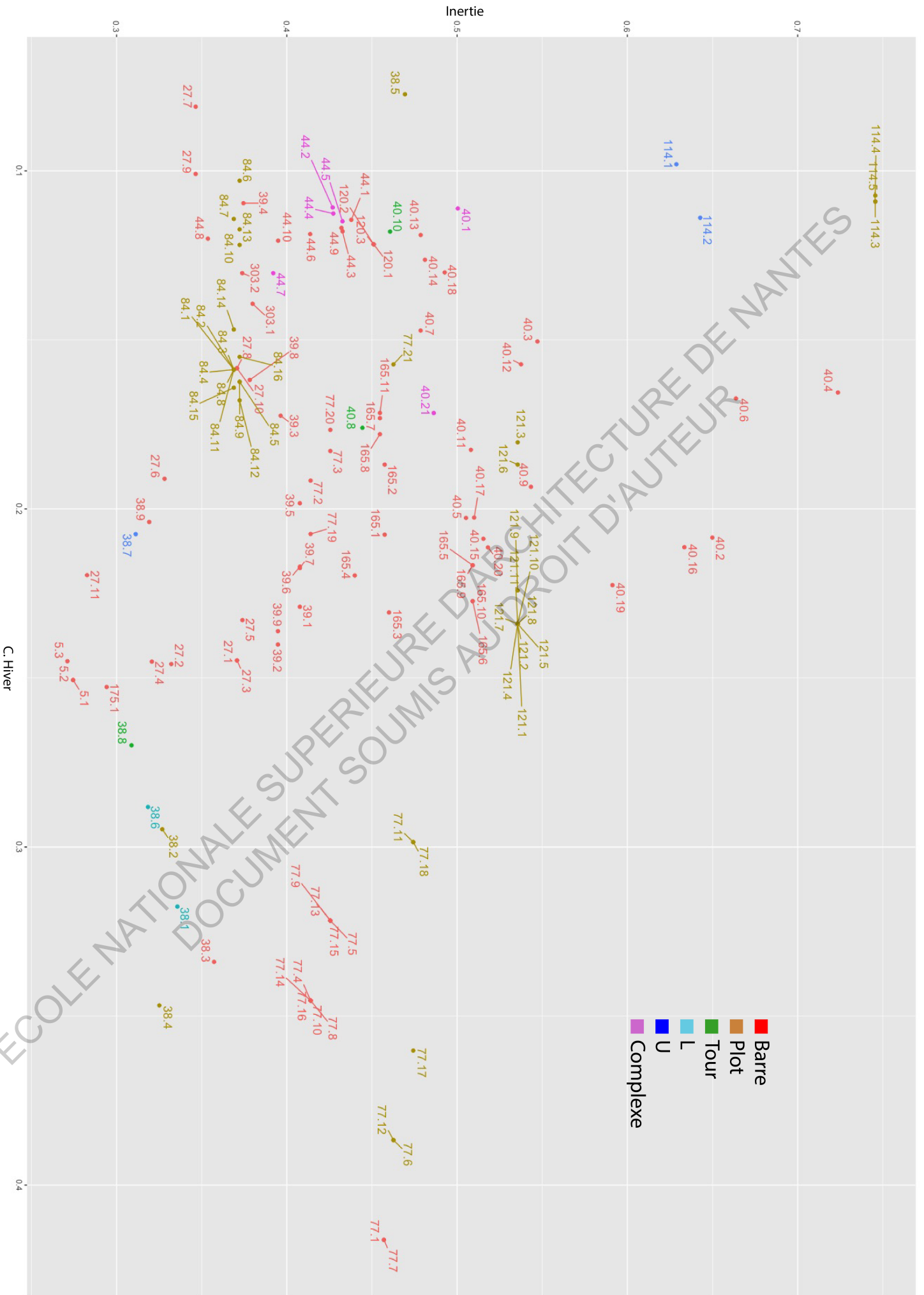
Inertie

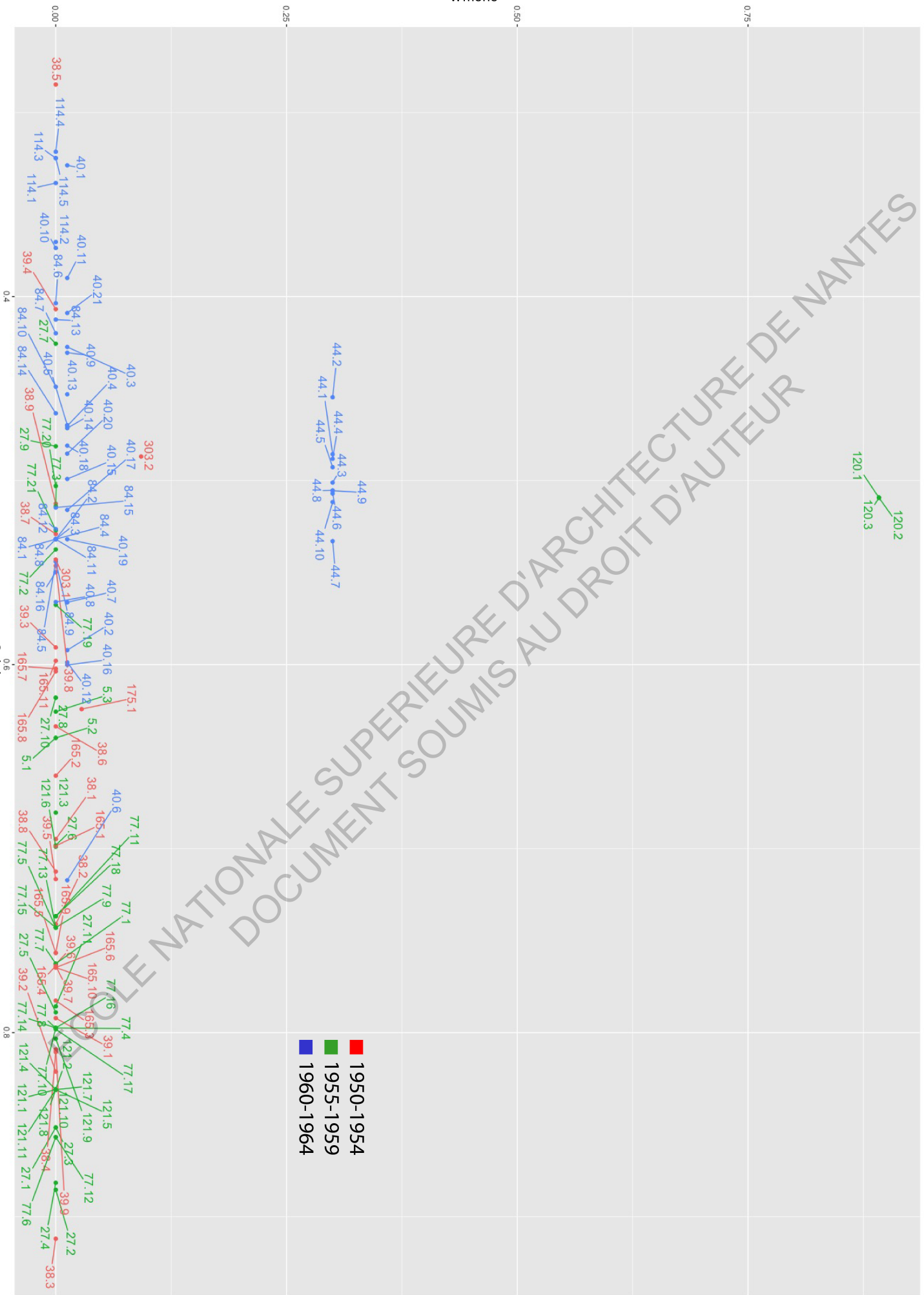
- 1950-1954
- 1955-1959
- 1960-1964



C. Hiver

- Barre
- Plot
- Tour
- L
- U
- Complexe





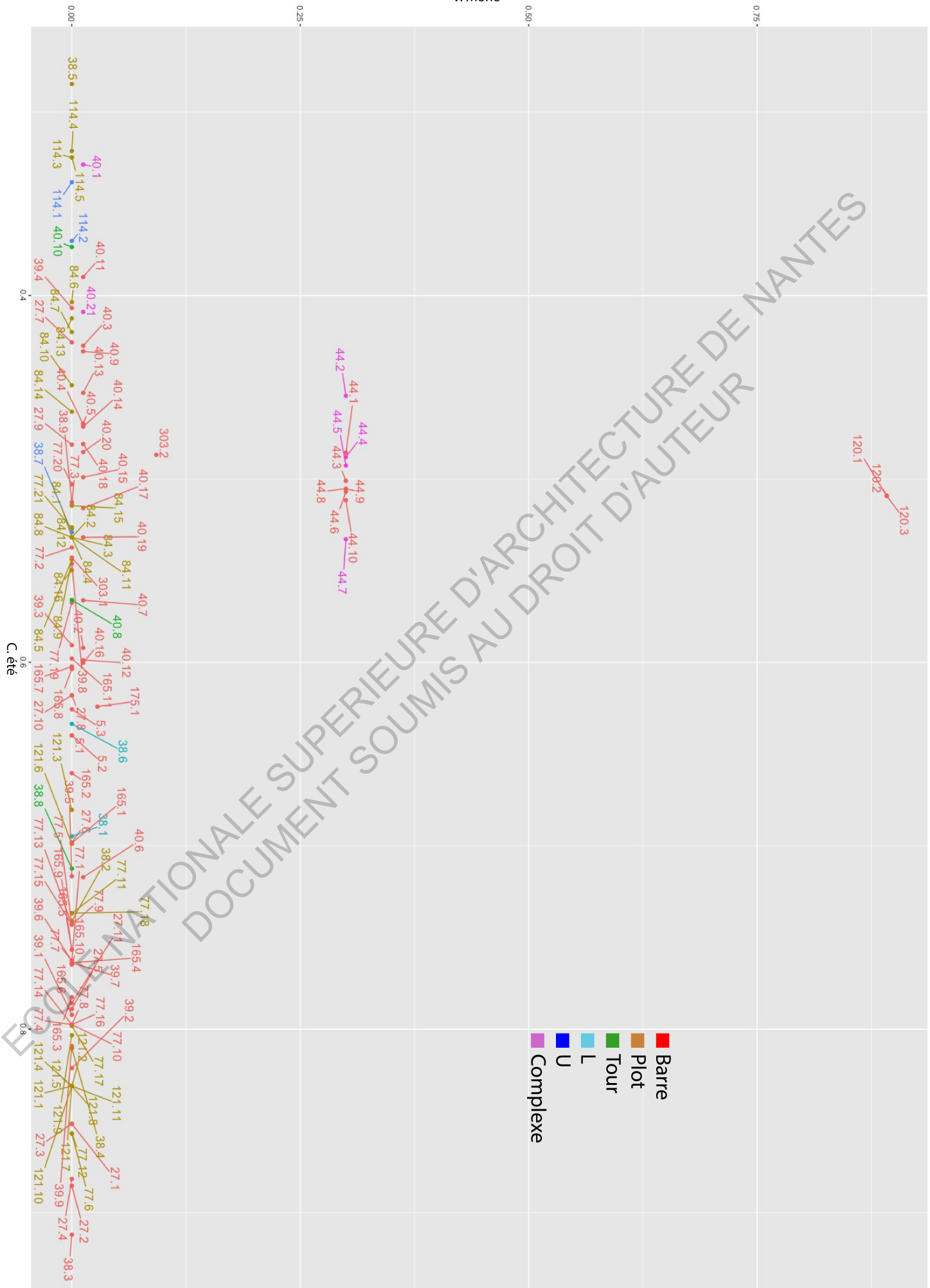
120.2  
120.3  
120.1

- 1950-1954
- 1955-1959
- 1960-1964

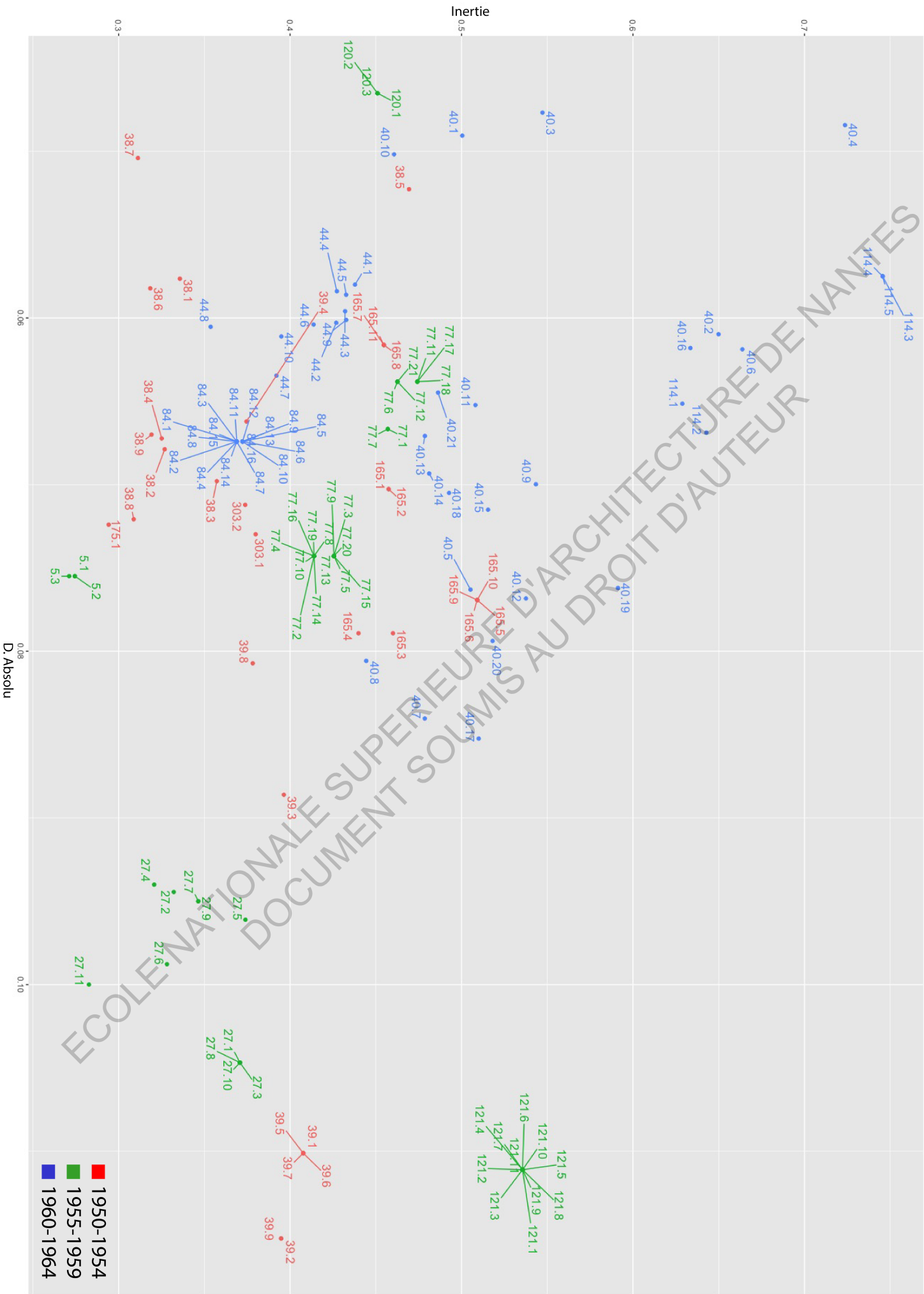
C.ête

120.3  
120.2  
120.1

- Barre
- Plot
- Tour
- L
- U
- Complexe







40.4  
114.4  
114.5  
114.3

40.2  
40.16  
114.1  
114.2

40.3  
40.1  
40.10  
38.5  
120.1  
120.3  
120.2

44.1  
44.5  
44.4  
39.4  
44.6  
44.2  
44.3  
44.7  
44.9  
44.8  
44.3  
44.2  
44.1  
44.0  
44.7  
84.9  
84.6  
84.10  
84.13  
84.16  
84.17  
84.18  
84.19  
84.20  
84.21  
84.22  
84.23  
84.24  
84.25  
84.26  
84.27  
84.28  
84.29  
84.30  
84.31  
84.32  
84.33  
84.34  
84.35  
84.36  
84.37  
84.38  
84.39  
84.40  
84.41  
84.42  
84.43  
84.44  
84.45  
84.46  
84.47  
84.48  
84.49  
84.50  
84.51  
84.52  
84.53  
84.54  
84.55  
84.56  
84.57  
84.58  
84.59  
84.60  
84.61  
84.62  
84.63  
84.64  
84.65  
84.66  
84.67  
84.68  
84.69  
84.70  
84.71  
84.72  
84.73  
84.74  
84.75  
84.76  
84.77  
84.78  
84.79  
84.80  
84.81  
84.82  
84.83  
84.84  
84.85  
84.86  
84.87  
84.88  
84.89  
84.90  
84.91  
84.92  
84.93  
84.94  
84.95  
84.96  
84.97  
84.98  
84.99  
85.00

40.11  
40.21  
40.13  
40.14  
40.18  
40.15  
40.12  
40.17  
40.19  
40.20  
40.22  
40.23  
40.24  
40.25  
40.26  
40.27  
40.28  
40.29  
40.30  
40.31  
40.32  
40.33  
40.34  
40.35  
40.36  
40.37  
40.38  
40.39  
40.40  
40.41  
40.42  
40.43  
40.44  
40.45  
40.46  
40.47  
40.48  
40.49  
40.50

165.11  
165.7  
165.8  
165.1  
165.2  
165.3  
165.4  
165.5  
165.6  
165.9  
165.10  
165.11  
165.12  
165.13  
165.14  
165.15  
165.16  
165.17  
165.18  
165.19  
165.20  
165.21  
165.22  
165.23  
165.24  
165.25  
165.26  
165.27  
165.28  
165.29  
165.30  
165.31  
165.32  
165.33  
165.34  
165.35  
165.36  
165.37  
165.38  
165.39  
165.40  
165.41  
165.42  
165.43  
165.44  
165.45  
165.46  
165.47  
165.48  
165.49  
165.50

38.7  
38.1  
38.6  
38.4  
38.9  
38.2  
38.8  
175.1  
5.1  
5.2  
5.3

27.4  
27.7  
27.9  
27.5  
27.6  
27.11  
27.1

27.4  
27.10  
27.8  
27.3  
39.1  
39.5  
39.7  
39.6  
39.2  
39.9

121.6  
121.10  
121.8  
121.9  
121.1  
121.3  
121.4  
121.2

