



efficacity



**xMUSE** : Un outil d'exploration  
des morphologies urbaines pour  
la sobriété énergétique

L'institut pour la transition énergétique de la ville

## *Constats et contexte :*

- Phase amont des projets : étape cruciale pour la performance énergétique
- La morphologie urbaine : un levier de la performance énergétique
- Un décalage opérationnel entre processus créatif et évaluations techniques

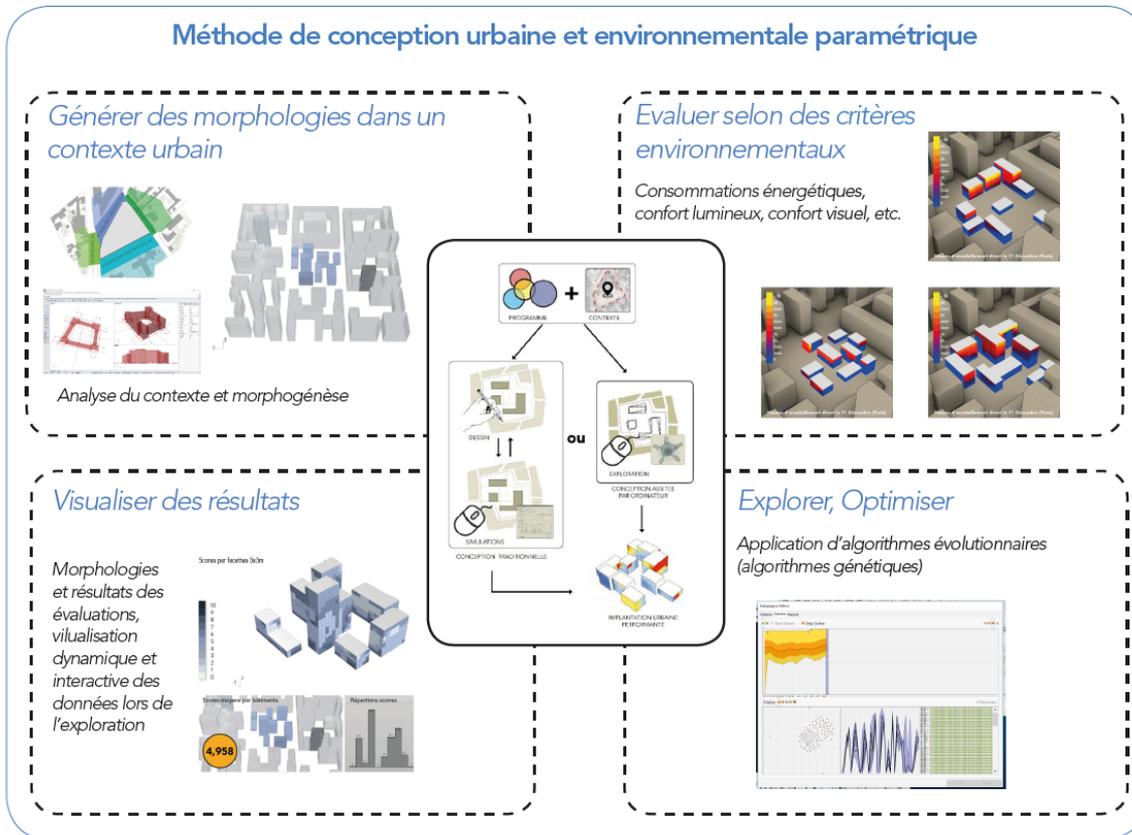
## *Champ scientifique :*

- **Computational and environmental urban design**

## *Objectifs du projet de recherche :*

- Développer des outils intégrant des indicateurs pertinents avec les pratiques des concepteurs et adaptés aux phases amont des projet urbains
- Intégrer la culture de la mesure et de l'évaluation de critères environnementaux (performance énergétique et confort) dans le processus créatif du concepteur
- Identifier les corrélations entre morphologies, usages et performances énergétiques
- Démocratiser la modélisation paramétrique en France

*Développer des outils pour l'élaboration d'aide à l'éco-conception, adaptés aux phases amont des projets urbains.*



- *Quelles méthodes de morphogénèse (niveau de précision, niveau de lecture de contexte) pour une exploration rapide et un résultat exploitable?*
- *Quelles méthodes d'évaluation environnementale à la fois fiables et réactives peuvent être utilisées avec des algorithmes d'optimisation ?*
- *Comment représenter les performances énergétiques, faciliter l'interprétation des résultats pour faciliter la prise de décision ?*

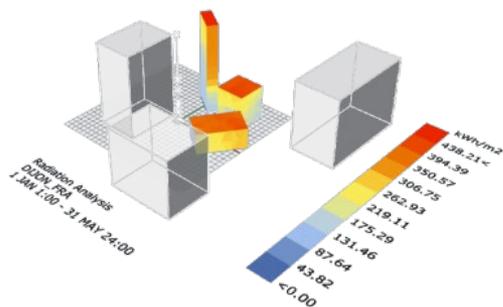
Environnement Rhino et Grasshopper



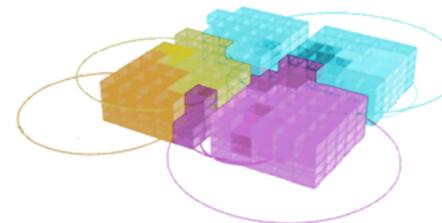
OUTIL  
D'OPTIMISATION  
MORPHOLOGIQUE



MOTEUR  
D'ALLOCATION  
SPATIAL SOUS  
CONTRAINTES



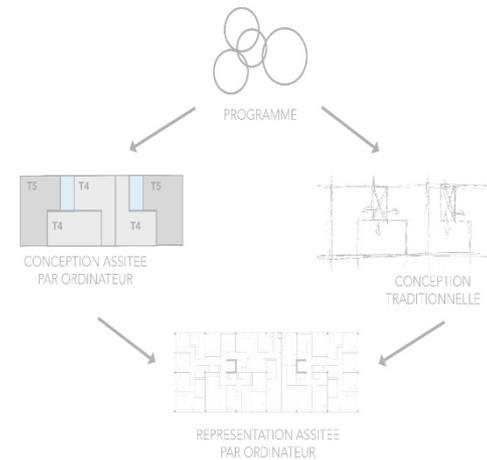
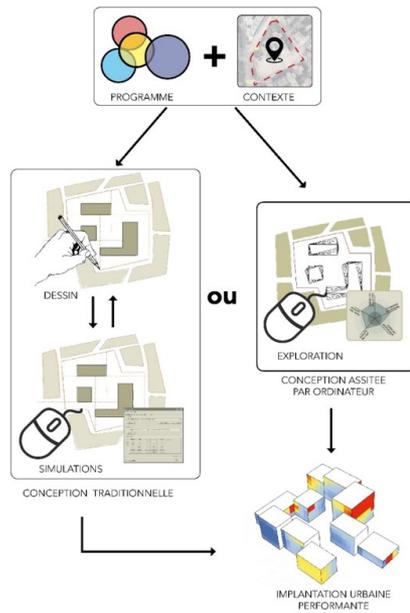
EXPLORER DES SCÉNARIOS DE  
FORMES URBAINES



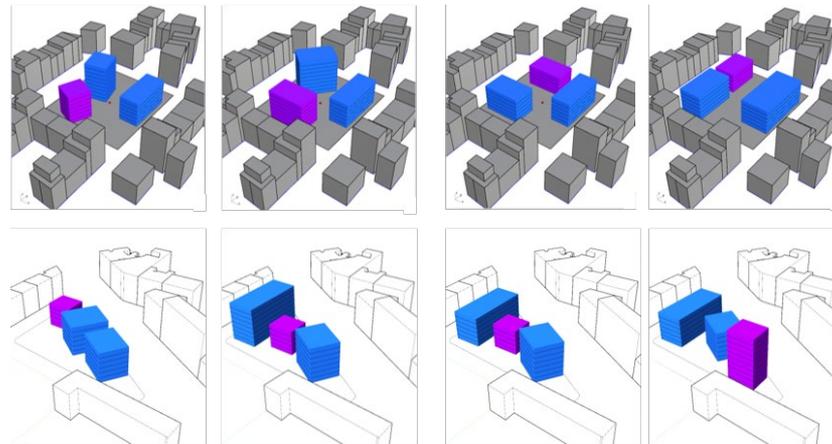
EXPLORER DES SCÉNARIOS  
D'AGENCEMENTS DES ESPACES  
INTÉRIEURS



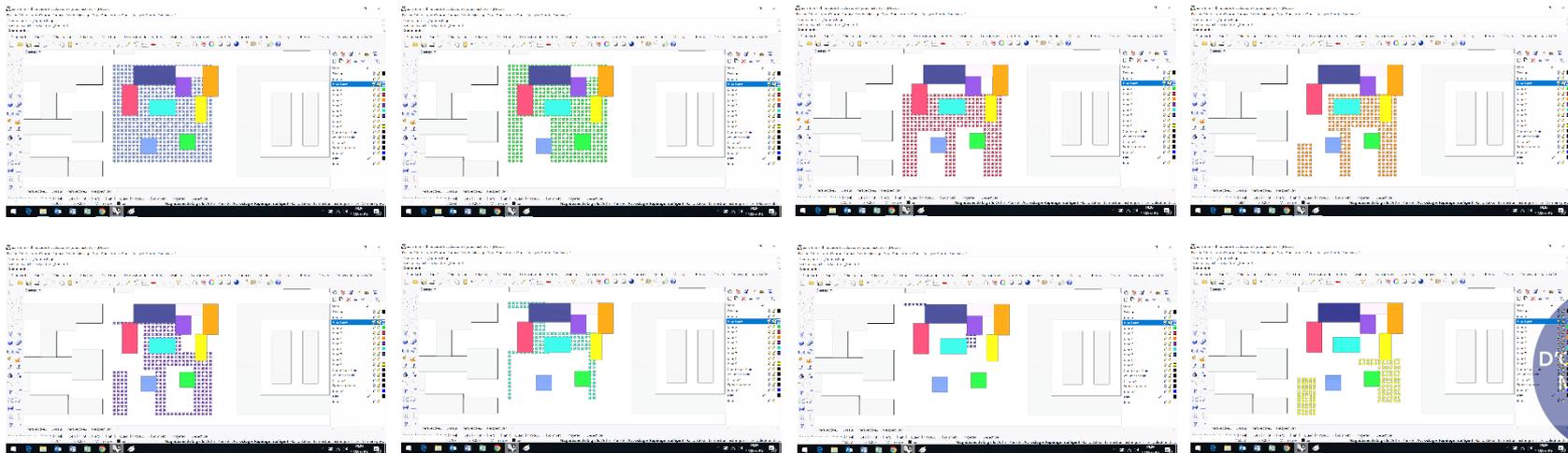
xMUSE



## *Morphogénèse par pénalité (test rapide d'exploration, difficile à contraindre, peu opérationnelle)*

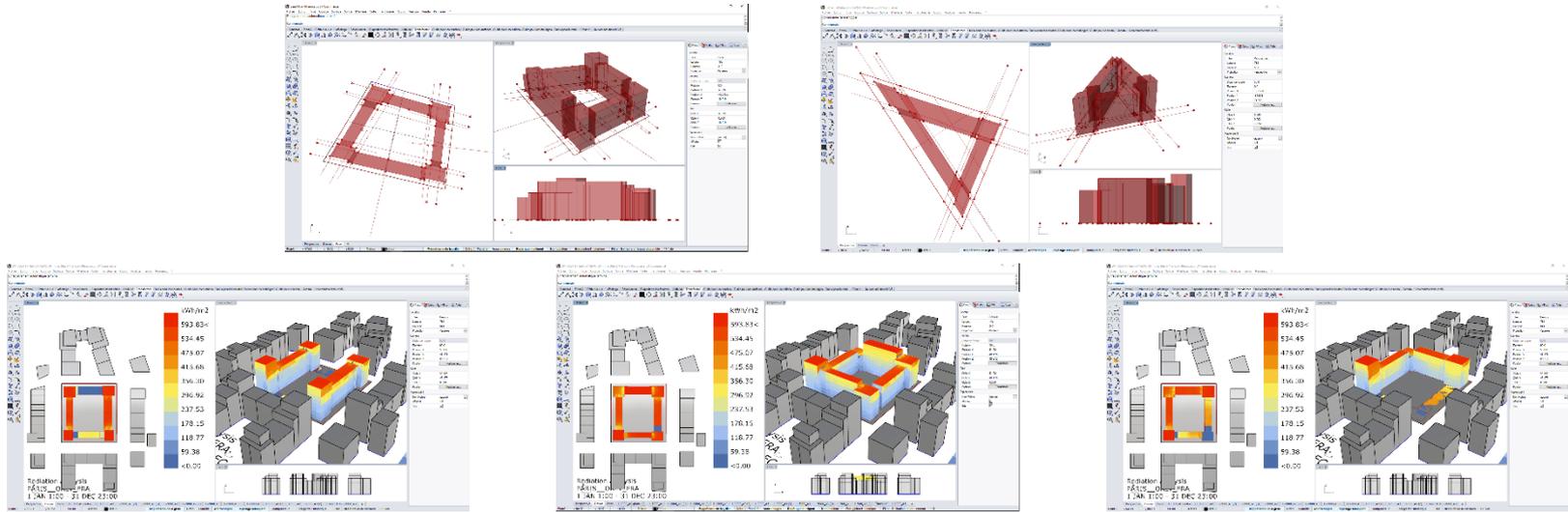


## *Morphogénèse par réduction d'espace de solutions (optique échelle quartier, limite du « rectiligne »)*

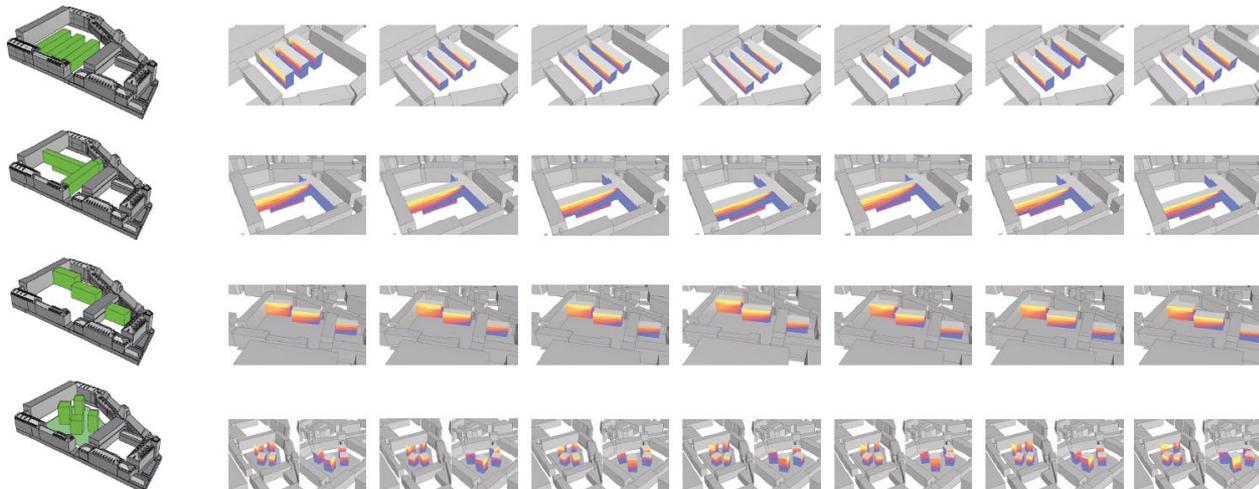


OUTIL  
D'OPTIMISATION  
MORPHOLOGIQUE

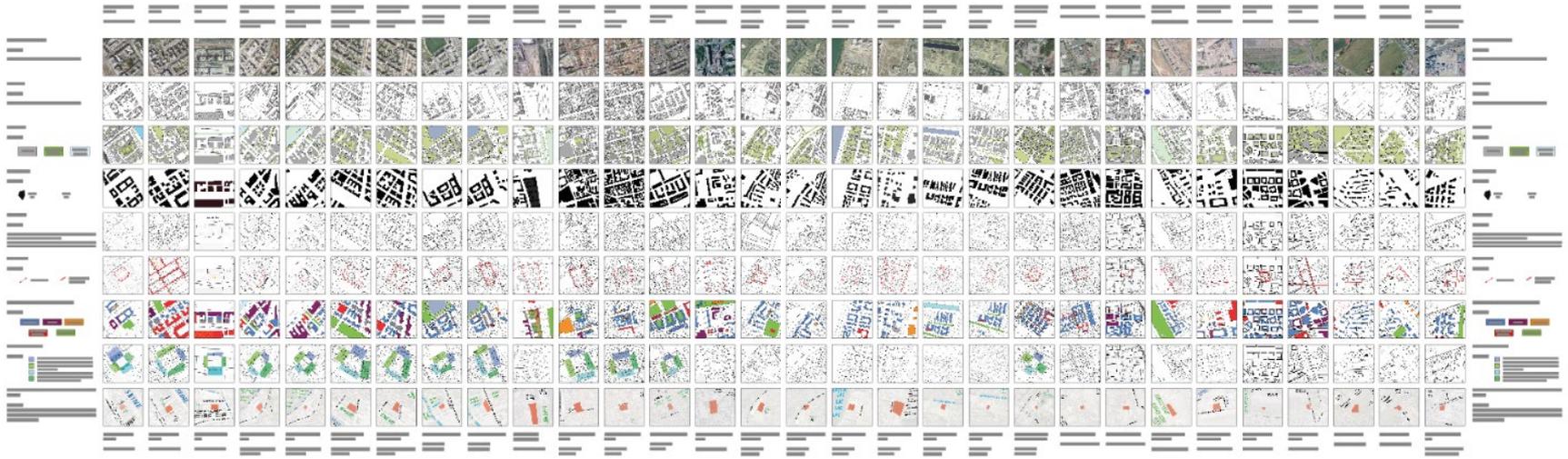
## Morphogénèse par typologie (adaptée à l'îlot, bibliothèque de typologies et une matrice de critères)



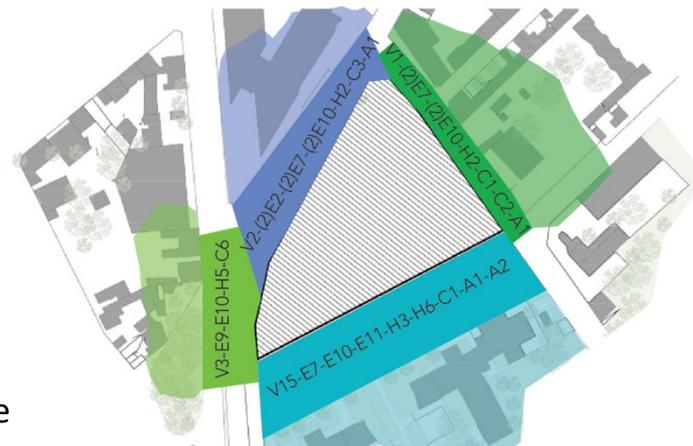
## Morphogénèse par paramétrisation d'esquisses (très opérationnelle, exploration précontrainte)



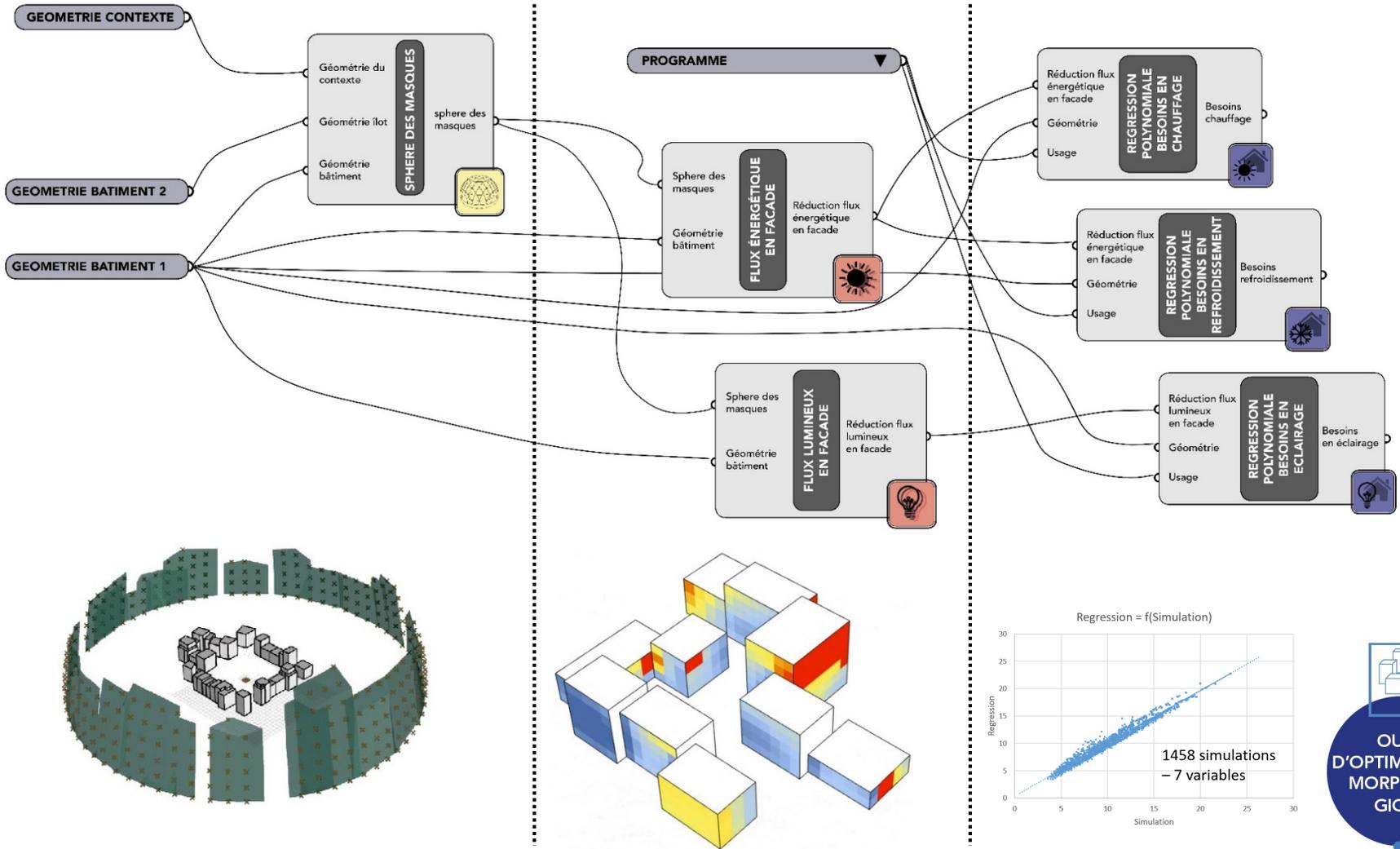
## Elaboration d'un atlas de références d'îlots urbains



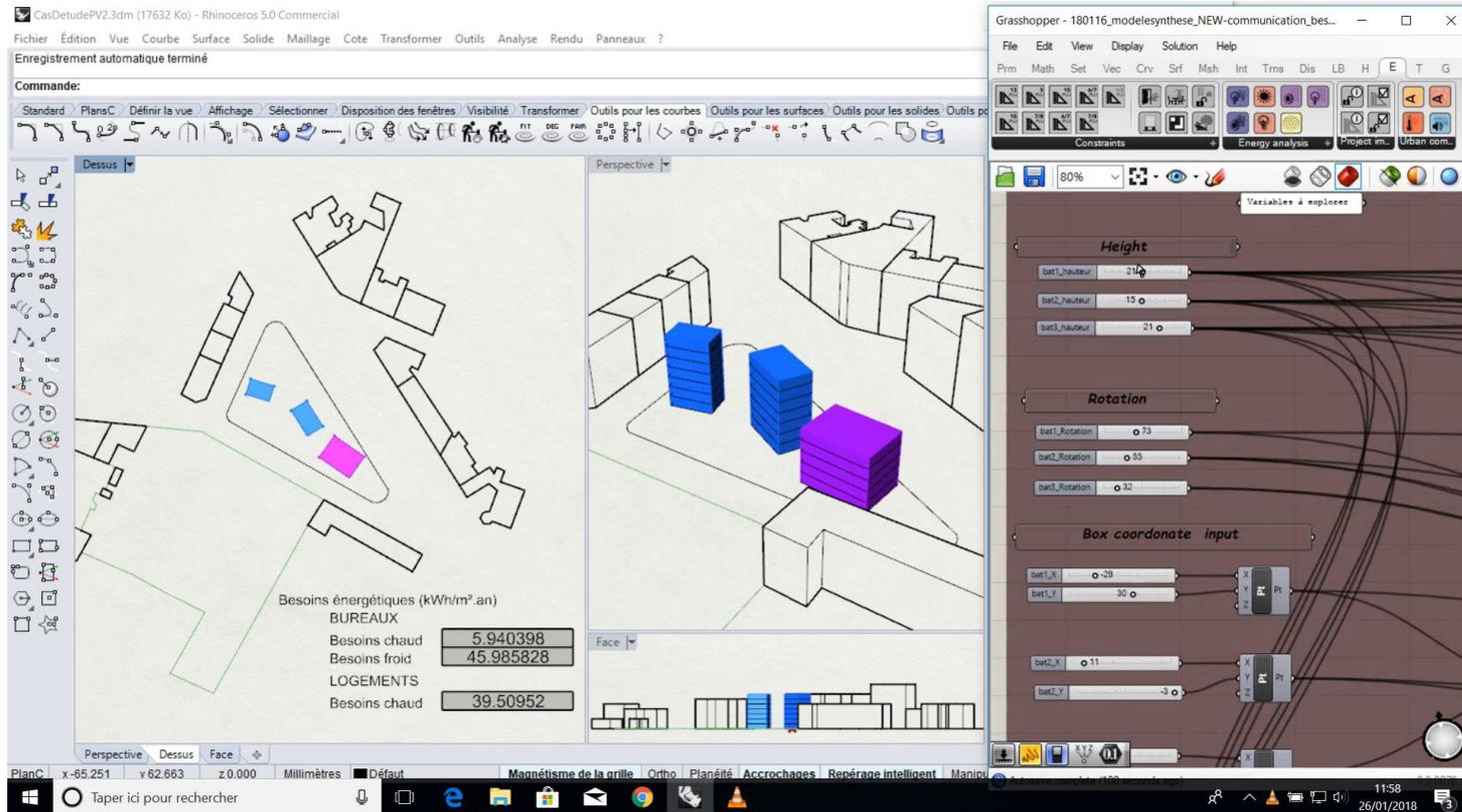
- Identification scientifiques de logiques de conception et règles expertes
- Alimenter les travaux de morphogénèse (typologies)
- Détermination des critères environnementaux déterminant dans les choix morphologiques et programmatiques
- Construire un protocole pertinent de lecture du contexte



## Prédiction des besoins à partir d'un méta-modèle



## Implémentation du module sur des formes simples

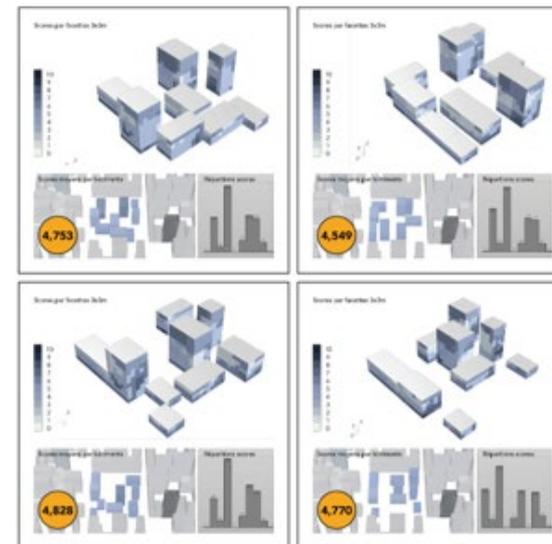
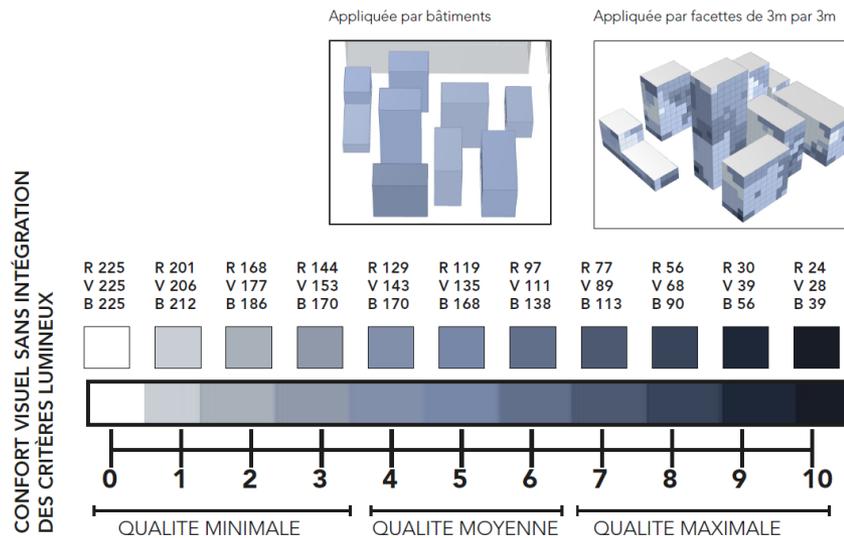


## Évaluer le confort des espaces intérieurs

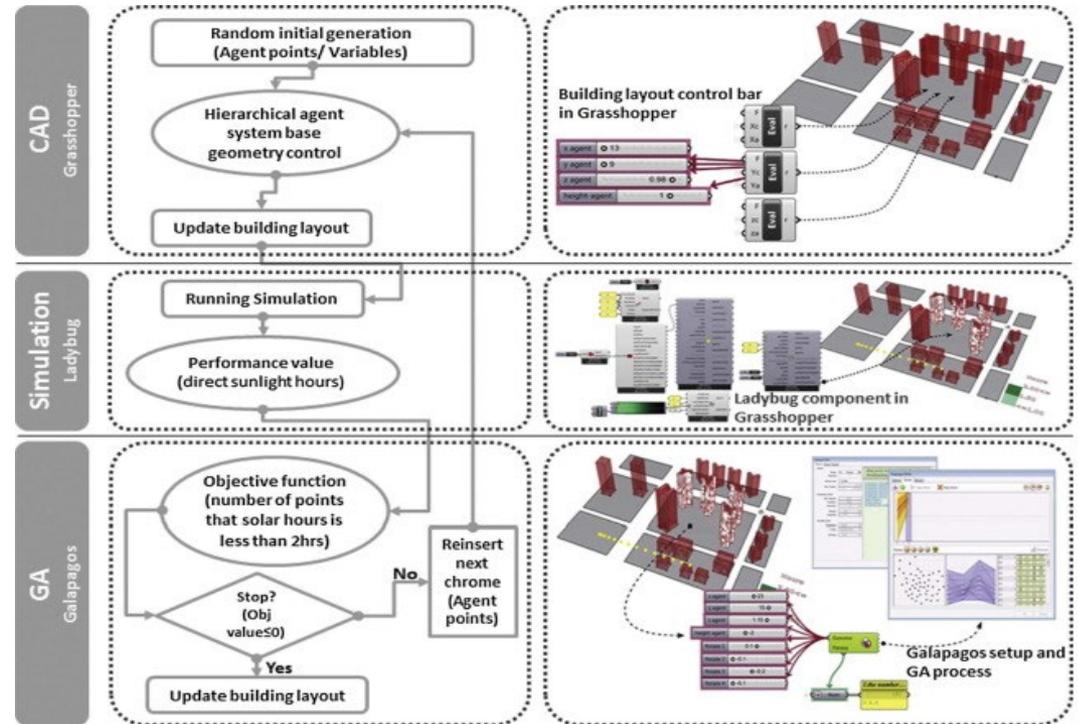
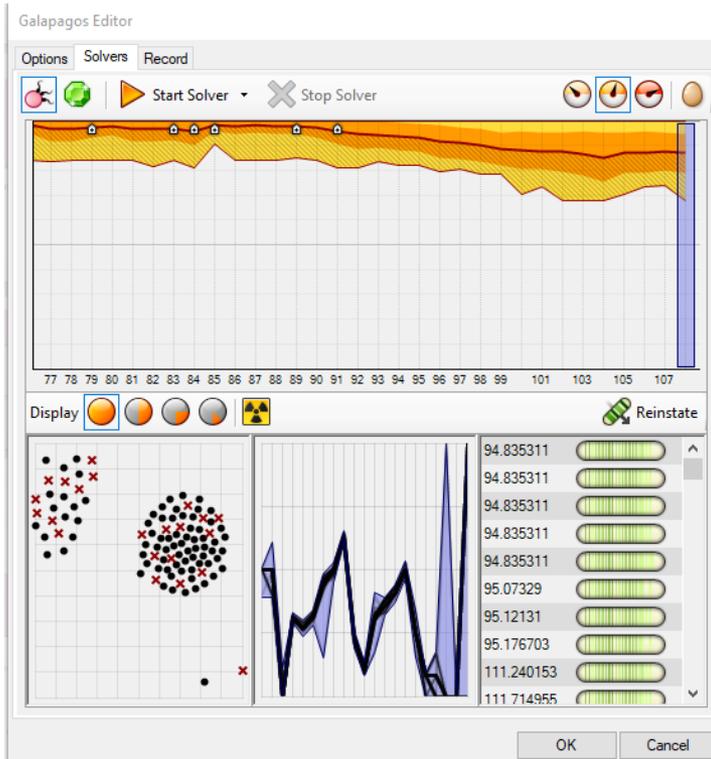
Prise en compte des critères de confort **lumineux, visuels, et acoustiques**.

Intégration d'évaluation de critères parfois contradictoires, essentielle pour la prise de décision dans un processus de conception

Développement de nos propres modules d'évaluation



## Utilisation d'algorithmes évolutionnaires : algorithmes génétiques



Utilisation d'outils existants dans l'environnement Rhino Grasshopper



## Représentation de données et informations techniques

- Représentation de la performance
- Représentation de l'évaluation du confort
- Représentation multicritère

### COMPARER LES VALEURS ENTRE PLUSIEURS CATEGORIES

Plusieurs types de représentation sont adaptés à la visualisation et comparaison de valeurs de différentes catégories. Les diagrammes barres, par exemple, se trouvent assez fréquemment. Appartenance initiale, il est souvent préféré au tableau.

**Barres (Bar Chart)**  
Barres de hauteur égale pour comparer les valeurs de différentes catégories. Les barres peuvent être empilées ou groupées. Les barres empilées sont utiles pour comparer les contributions de différentes catégories à un total. Les barres groupées sont utiles pour comparer les contributions de différentes catégories à un total.

**Barres verticales empilées (Cluster Column)**  
Ces diagrammes sont utilisés pour représenter les données de plusieurs catégories. Les barres sont empilées et les segments de couleur sont utilisés pour représenter les contributions de différentes catégories à un total.

**Barres empilées (Stacked Bar Chart)**  
Ces diagrammes sont utilisés pour représenter les données de plusieurs catégories. Les barres sont empilées et les segments de couleur sont utilisés pour représenter les contributions de différentes catégories à un total.

**Barres groupées (Grouped Bar Chart)**  
Ces diagrammes sont utilisés pour représenter les données de plusieurs catégories. Les barres sont groupées et les segments de couleur sont utilisés pour représenter les contributions de différentes catégories à un total.

**Barres empilées (Stacked Bar)**  
Ces diagrammes sont utilisés pour représenter les données de plusieurs catégories. Les barres sont empilées et les segments de couleur sont utilisés pour représenter les contributions de différentes catégories à un total.

**Barres groupées (Grouped Bar)**  
Ces diagrammes sont utilisés pour représenter les données de plusieurs catégories. Les barres sont groupées et les segments de couleur sont utilisés pour représenter les contributions de différentes catégories à un total.

**Barres empilées (Stacked Bar)**  
Ces diagrammes sont utilisés pour représenter les données de plusieurs catégories. Les barres sont empilées et les segments de couleur sont utilisés pour représenter les contributions de différentes catégories à un total.

**Barres groupées (Grouped Bar)**  
Ces diagrammes sont utilisés pour représenter les données de plusieurs catégories. Les barres sont groupées et les segments de couleur sont utilisés pour représenter les contributions de différentes catégories à un total.

### REPRÉSENTER LES RELATIONS ENTRE LES DONNÉES

**Diagramme de Venn (Venn Diagram)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les relations entre deux ou trois ensembles. Les zones de chevauchement sont utilisées pour représenter les éléments communs à deux ou trois ensembles.

**Diagramme radial ou étoilé (Radial Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les relations entre plusieurs données. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les relations entre les données.

**Diagramme radial ou étoilé (Radial Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les relations entre plusieurs données. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les relations entre les données.

**Diagramme radial ou étoilé (Radial Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les relations entre plusieurs données. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les relations entre les données.

**Diagramme radial ou étoilé (Radial Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les relations entre plusieurs données. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les relations entre les données.

**Diagramme radial ou étoilé (Radial Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les relations entre plusieurs données. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les relations entre les données.

**Diagramme radial ou étoilé (Radial Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les relations entre plusieurs données. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les relations entre les données.

**Diagramme radial ou étoilé (Radial Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les relations entre plusieurs données. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les relations entre les données.

### REPRÉSENTER LES PARTIES D'UN ENSEMBLE

**Diagramme Sectoriel (Pie Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les proportions de différentes parties d'un ensemble. Les segments de couleur sont utilisés pour représenter les proportions.

**Diagramme Sectoriel ou Annulaire (Donut Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les proportions de différentes parties d'un ensemble. Les segments de couleur sont utilisés pour représenter les proportions.

**Diagramme Sectoriel ou Annulaire (Donut Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les proportions de différentes parties d'un ensemble. Les segments de couleur sont utilisés pour représenter les proportions.

**Diagramme Sectoriel ou Annulaire (Donut Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les proportions de différentes parties d'un ensemble. Les segments de couleur sont utilisés pour représenter les proportions.

**Diagramme Sectoriel ou Annulaire (Donut Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les proportions de différentes parties d'un ensemble. Les segments de couleur sont utilisés pour représenter les proportions.

**Diagramme Sectoriel ou Annulaire (Donut Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les proportions de différentes parties d'un ensemble. Les segments de couleur sont utilisés pour représenter les proportions.

**Diagramme Sectoriel ou Annulaire (Donut Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les proportions de différentes parties d'un ensemble. Les segments de couleur sont utilisés pour représenter les proportions.

**Diagramme Sectoriel ou Annulaire (Donut Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les proportions de différentes parties d'un ensemble. Les segments de couleur sont utilisés pour représenter les proportions.

### REPRÉSENTER LES CHANGEMENTS DES VALEURS DANS LE TEMPS ET LES TENDANCES

**Diagramme à Lignes (Line Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les changements de valeurs dans le temps. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les tendances.

**Diagramme à Lignes (Line Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les changements de valeurs dans le temps. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les tendances.

**Diagramme à Lignes (Line Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les changements de valeurs dans le temps. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les tendances.

**Diagramme à Lignes (Line Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les changements de valeurs dans le temps. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les tendances.

**Diagramme à Lignes (Line Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les changements de valeurs dans le temps. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les tendances.

**Diagramme à Lignes (Line Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les changements de valeurs dans le temps. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les tendances.

**Diagramme à Lignes (Line Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les changements de valeurs dans le temps. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les tendances.

**Diagramme à Lignes (Line Chart)**  
Ce type de représentation est utilisé pour représenter les changements de valeurs dans le temps. Les lignes de couleur sont utilisées pour représenter les tendances.

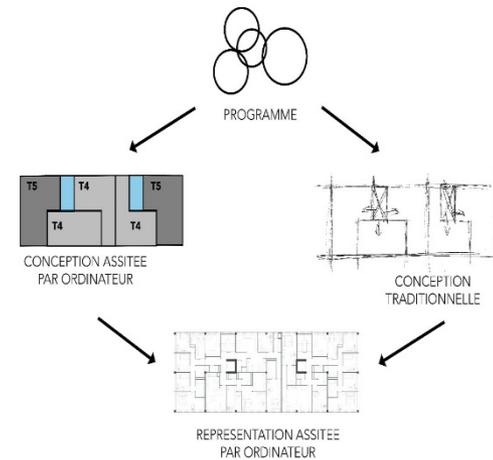
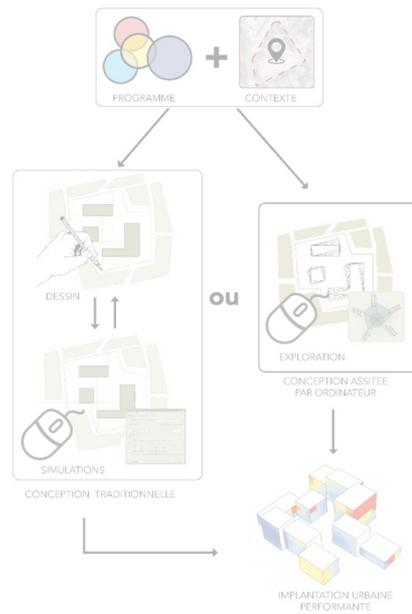
## Elaborer un outil interactif, dynamique pour des équipes pluridisciplinaires

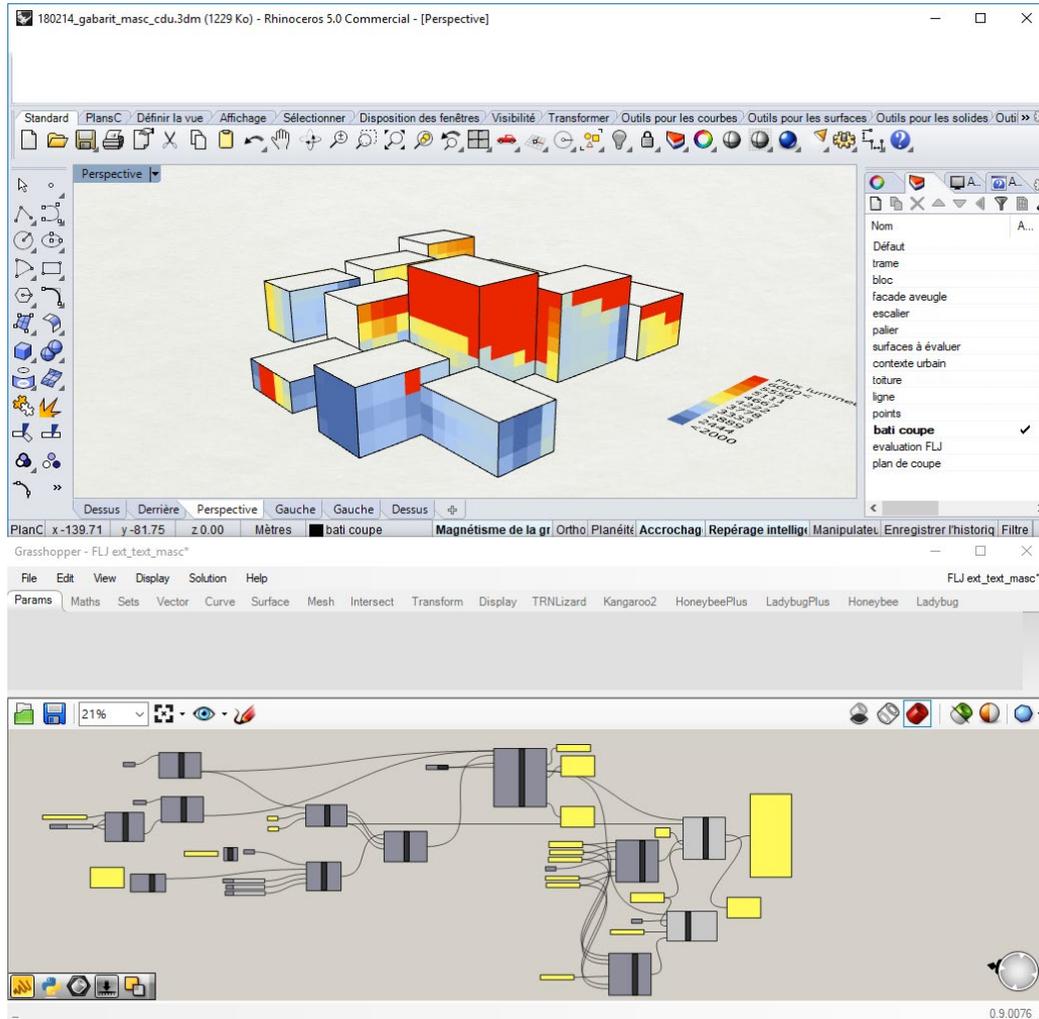
- Représentation d'un processus dynamique et itératif
- Caractère interactif et interdisciplinaire de la méthode
- Inscription dans un processus d'aide à la décision





xMUSE





## Intégration des données du contexte

Contexte urbain : géométrie

Esquisse en 3D : géométrie générée ou importée

Résultats d'évaluation de critères de confort (vue, lumière, acoustique) en façade



MOTEUR D'ALLOCATION SPATIAL SOUS CONTRAINTES

## Trouver l'agencement répondant au mieux au programme demandé

1) EDITEUR DE PROGRAMME IMMOBILIER						
nom du programme	paris (renvoie au nom donnée dans l'éditeur d'espace du programme 1)					
Typologie d'appartements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Pourcentage	30	20	15	15	10	10
Proportion de duplex	/	/	/	20	20	/
Proportion de loggia	/	/	50	50	50	50

6) EDITEUR D'ESPACES								
Typologie d'appartements	T1	T2	T3	T4	T5	T3''	T4''	T5''
Nombre de cubes "entrée"	1	1	1	1	1	1	1	1
Nombre de cubes "salon"	2	2	2	2	2	2	2	2
Nombre de cubes "chambre"	0	1	2	3	4	2	3	4
Nombre de cubes "salle de bain"	0	0	1	1	2	1	1	2
Nombre de cubes "cuisines"	1	1	1	1	1	1	1	1
Nombre de cubes "articulation"	0	0	1	1	2	1	1	2
Nombre de cubes "loggia"	0	0	0	0	0	1	1	1
TOTAL	4	5	8	9	12	9	10	13

Paramétrage du programme et typologies

**CUBES INTERNES**  
Les cubes «espaces extérieurs internes» ne sont pas différenciés dans le programme 1.

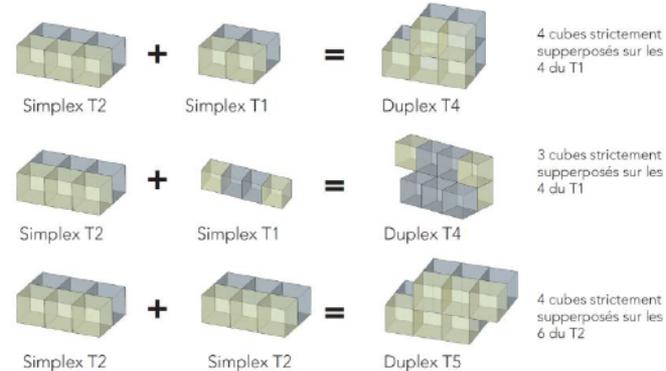
**L** CUBE «LOGGIA»  
Plan:  Coupe:  

**T** CUBE «TERRASSE»  
Plan:  Coupe:  

**CUBES EXTERNES**  
Le cube «espace extérieur externe» n'existe pas dans le programme 1.

**B** CUBE «BALCON»  
Plan:  Coupe:  

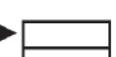
Agencement d'espaces extérieurs privatifs



4 cubes strictement superposés sur les 4 du T1

3 cubes strictement superposés sur les 4 du T1

4 cubes strictement superposés sur les 6 du T2

	DUPLEX SYMETRIQUE	DUPLEX ASYMETRIQUE
DUPLEX ASCENDANT		
DUPLEX DESCENDANT		

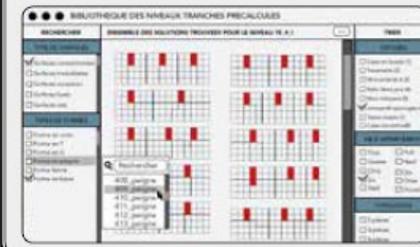
Agencement de duplex



MOTEUR D'ALLOCATION SPATIAL SOUS CONTRAINTES

PROGRAMME 1 : GÉNÉRATEUR DE SOLUTIONS 2D

**ALGO 1: génération de plans d'agencement d'appartements rectiligne dans une forme rectangulaire**



MOTEUR D'ALLOCATION SPATIAL SOUS CONTRAINTES

The screenshot shows two windows from a Windows operating system. The top window is a File Explorer window titled '1\_waiting' showing a folder structure with files like '3\_done', '180206\_sorties', and '180219\_test\_masc'. The bottom window is a Command Prompt window showing the execution of a program named 'BOUCLE 4'. The output includes parameters like 'test Longueur 10 Largeur 5 nb acces 1 nb murs aveugles 2' and a list of 'nb cubes' (46) with their IDs (0 to 46).

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following sections:

### 2) EDITEUR DE PLANS DE BASE

Diagram showing a grid with red squares indicating circulation locations. Legend:

- Red square: emplacement de la circulation verticale
- Light red square: emplacement de la circulation horizontale
- Dashed line: facade contenant des percements
- White square: facade sans percement

Zone pour dessiner le plan

### 3) NOMBRE D'APPARTEMENTS PAR ETAGE

Intervalle de	a
Longueur	6
Largeur	4
Nombre de cubes circulation	4
Nombre de cubes dans l'étage	20
Nombre de cubes plus petit appartement	0
Nombre de cubes plus grand appartement	12

INFORMATIONS A RECUPERER DANS LES DIFFERENTS TABLEAUX DE SAISIS

Nombre minimum d'appartements	Nombre de cubes dans l'étage	Nombre de cubes plus grand appartement
Nombre maximum d'appartements	Nombre de cubes dans l'étage	Nombre de cubes plus petit appartement

### 4) PARAMETRES DES TEMPS DE CALCULS

Temps passé sans trouver de solutions mettant fin au calcul (secondes)	100
Limite temps de calcul par nombre d'appartements (secondes)	100

Lancer les calculs pour ce plan de base

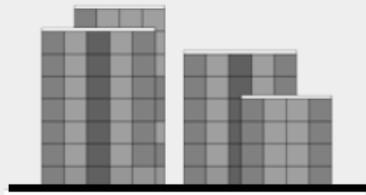
On the right side of the spreadsheet, there are six diagrams labeled 'solution n 1' through 'solution n 6', each showing a different floor plan layout with colored blocks representing circulation and apartment units.



**MOTEUR D'ALLOCATION SPATIAL SOUS CONTRAINTES**

## PROGRAMME 2 : GENERATEUR DE SOLUTIONS 3D

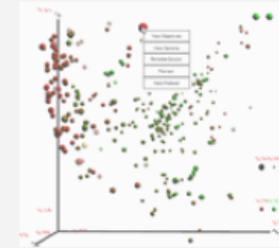
**ALGO 2: optimisation de l'assemblage verticale de plans dans plusieurs formes rectangulaires**



**ALGO 3: optimisation de l'agencement de cellules fonctionnelles dans chaque appartements**

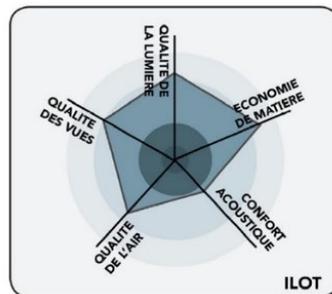
T1=1	A	+1	B	+2	C				
T2=1	A	+1	B	+2	C	+1			
T3=1	A	+1	B	+2	C	+2	D	+1	E
T4=1	A	+1	B	+2	C	+3	D	+1	E
T5=1	A	+1	B	+2	C	+4	D	+2	E
T3=1	A	+1	B	+2	C	+2	D	+1	E
T4=1	A	+1	B	+2	C	+3	D	+1	E
T5=1	A	+1	B	+2	C	+4	D	+2	E

**ALGO 4: recherche d'esquisses fonctionnelles 3D d'îlots rectilignes significativement différents**



**1. Optimiser le programme immobilier en cherchant à placer un nombre d'appartements par typologie le plus proche des attentes de l'utilisateur**

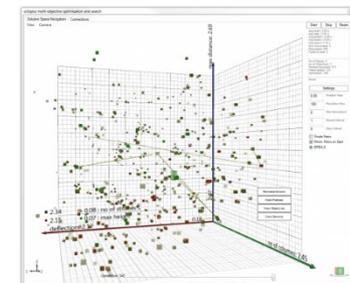
**2. Optimiser l'agencement des appartements entre eux pour maximiser le confort intérieur**



**3. Optimiser l'agencement des pièces avec une matrice d'adjacence**

	H	F	A	B	S	C	L	T	B
H									
F	3	0	3	0	-2	2	-3	-3	-3
A	0	2	0	0	2	-1	-1	-1	
B	-2	0	0	2	0	-2	-2	-2	
S				3	-3	2	1	1	1
C					3	0	-3	3	3
L						-1	3	2	2
T							3	0	0
B									0

**4. Optimisation multicritère: qualité des agencements vs quantité programmatique**



TEUR  
OCATION  
AL SOUS  
RAINTES

The screenshot displays the software interface with several components:

- Spreadsheet (Left):** Contains program data for 'paris' and a list of optimization criteria.
 

nom du programme	paris (renvoie au nom donnée dans l'éditeur d'espace du programme 1)					
Typeologie d'appartements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Pourcentage	30	20	15	15	20	10
Proportion de duplex	/	/	/	20	10	/
Proportion de loggia	/	/	50	50	50	50

2) EDITEUR DE FONCTION D'OPTIMISATION	
Liste des fonctions disponible	Hierarchiser les critères (deux au choix)
nombre de murs extérieurs aux appartements	0
nombre d'appartements traversants (à maximiser)	1
nombre d'appartements mono-orientés (à minimiser)	0
nombre de pièces 3ème jour excédentaires (à minimiser)	2
nombre de cubes en façade supplémentaires (à maximiser)	0
nombre de murs séparant appartements (sans les façades) (à minimiser)	0
nombre d'axes séparateurs (à minimiser)	0
le critère de confort lumineux (à maximiser)	0
- 3D Visualizations (Right):** Multiple views of floor plans showing different apartment layouts and orientations, color-coded by type.
- Terminal (Bottom Left):** Shows command-line output for the optimization process, including parameters like 'typeLogements T5L T4L T5L T2' and 'solution n 2'.
- Spreadsheet (Right):** Displays performance metrics for different solutions, including 'RÉSULTAT ALLOCATION' and 'RÉSULTAT PERFORMANCE DE L'ASSIGNEMENT AUX AXES'.



**MOTEUR D'ALLOCATION SPATIAL SOUS CONTRAINTES**

## Des questions de recherches propres au développement de chaque outil

- *Echelle d'application, types d'espaces générés*
- *Méthodes d'évaluation, morphologie complexe et phase amont ?*
- *Prise en compte de programmes multifonctionnels*

## Des questions générales sur l'application et la démocratisation de ce type d'outils

- *Interactions et évolutions des pratiques de conception ?*
- *La complexité des phases amonts*

## Des perspectives de déploiement des outils

- *Des briques d'outils implémentées et applicables sur des projets réels*
- *Développement de nouvelles briques et chaînage des modules implémentés*
- *Alimentation de la recherche autour du développement des outils en lien avec les professionnels de la conception*

