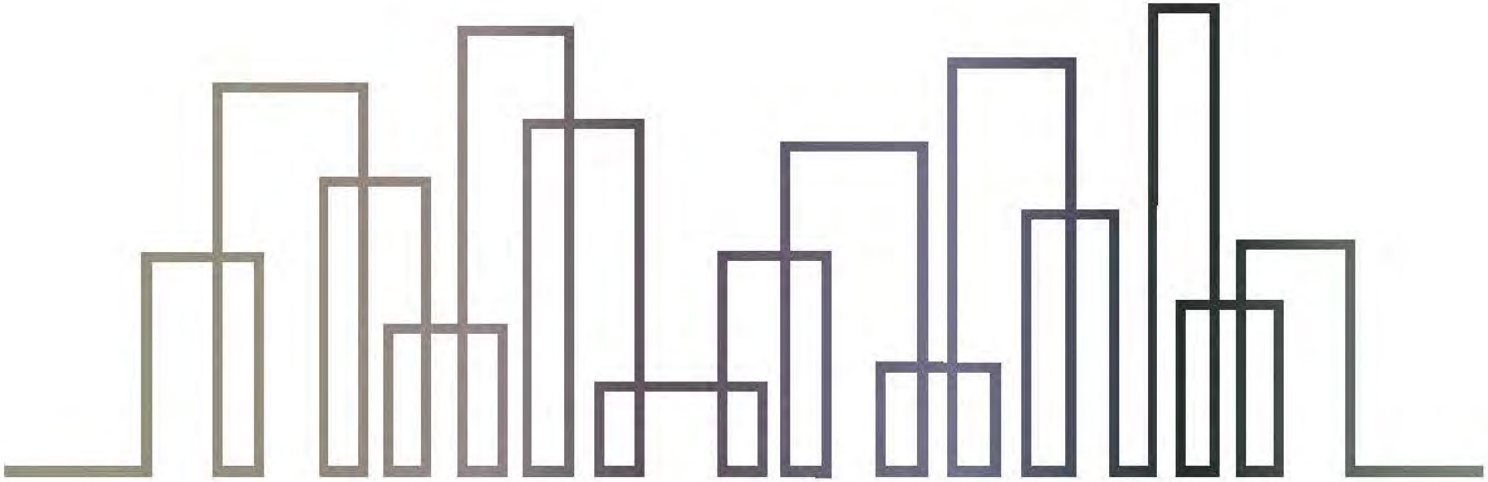
APR MODEVAL URBA 2015- convention n°1517C0030

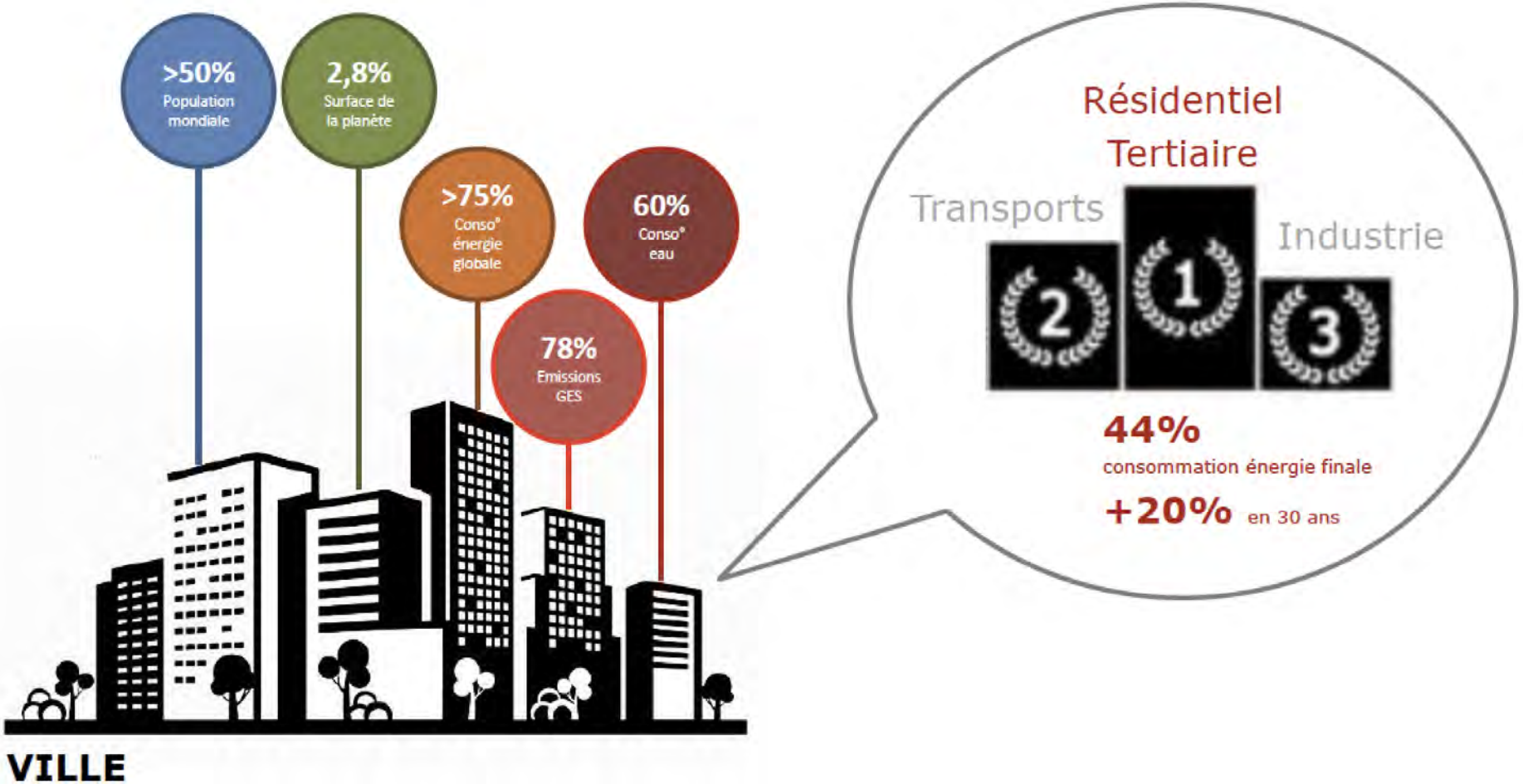


multipliCités

Optimisation énergétique multi-échelle et modélisation multicritère des formes urbaines

CONTEXTE ET ENJEUX

Problématique énergétique et environnementale :



CONTEXTE ET ENJEUX

MULTIPLICITES

Trois enjeux principaux :

- **Optimisation énergétique de la ville et du bâtiment** : deux approches dissociées

- **Simulation et modélisation de la ville et du bâtiment** : des outils distincts

- **Optimisation multicritères et multi-acteurs** : faible lien entre recherche et pratique

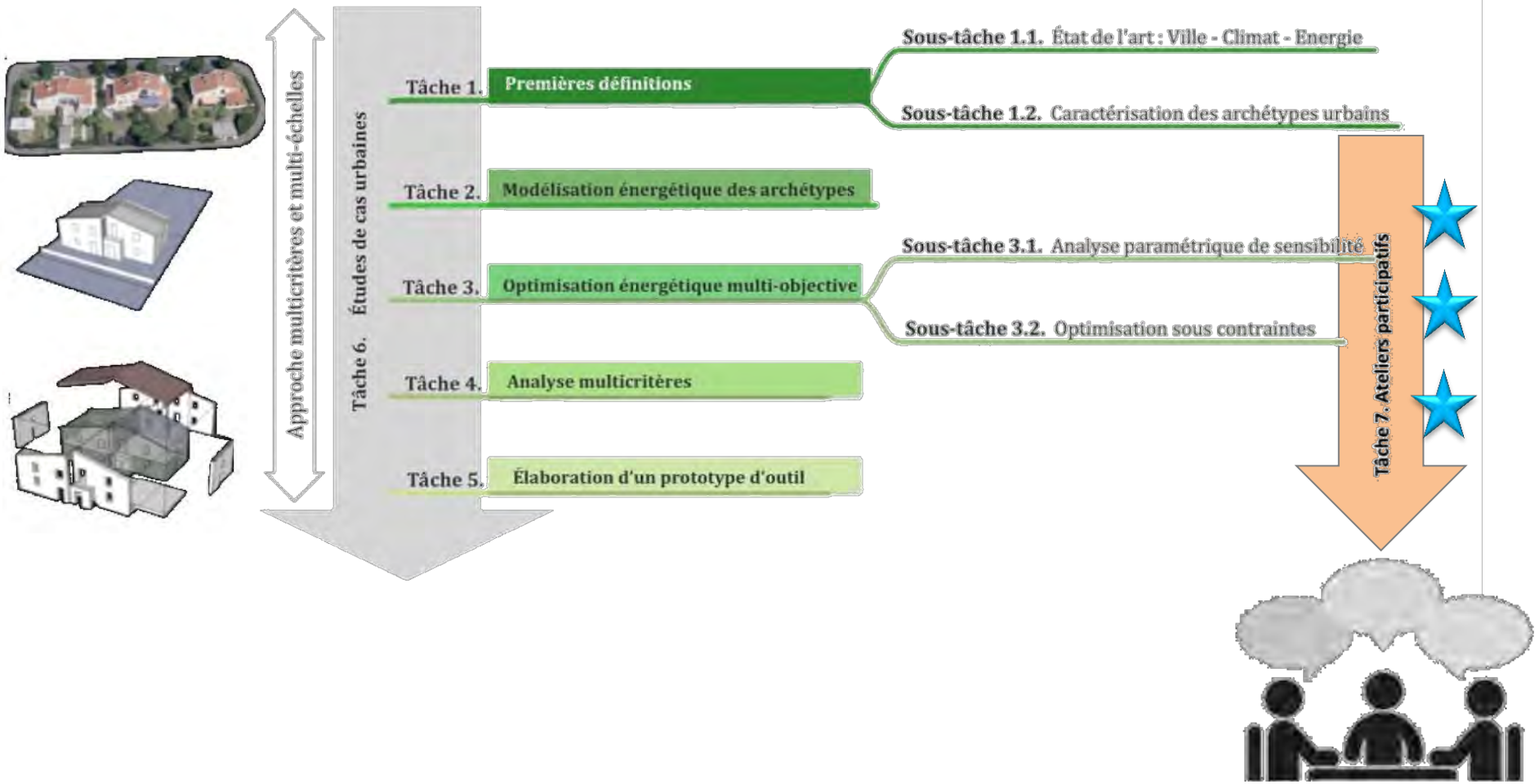
OBJECTIFS

MULTIPLICITES

- **Identifier et caractériser des archétypes** de quartiers représentatifs de la ville européenne traditionnelle à Toulouse,
- Etablir le **bilan énergétique** de ces archétypes urbains,
- Evaluer **l'impact relatif des attributs typo-morphologiques** dans les réponses énergétiques,
- Générer des **archétypes énergétiques urbains « optimaux »**,
- **Analyse multicritère** de scénarios énergétiques,
- Développer une **base de données et de connaissances** sur les variantes « optimales ».

METHODE

MULTIPLICITES



UNE METHODE MULTI-ÉCHELLES, MULTI-CRITÈRES ET MULTI-ACTEURS

LES ETUDES DE CAS ET ARCHETYPES

ETUDE DE CAS

MULTIPLICITES

Tâche 1

Définition des archétypes urbains transposable pour d'autres villes européennes

Approche descendante

Définition de bâtiments typiques représentatifs du parc de bâtiments français et de typologies d'îlots urbains

Identifier des « modèles » ou « archétypes » les plus représentatifs des tissus urbains et des typologies architecturales en France

Approche montante

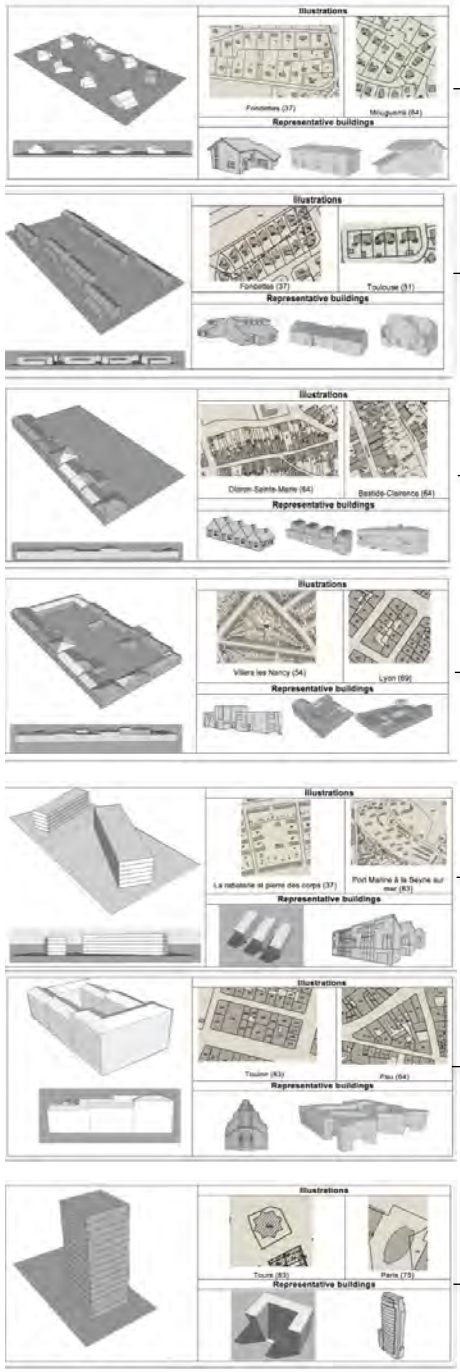
Approche des formes urbaines dans les PLU

Etude Formes urbaines de l'aua/T

Opérations urbaines toulousaines connues / suivies par l'aua/T

ETUDE DE CAS

MULTIPLICITES



PAVILLON

IMMEUBLE

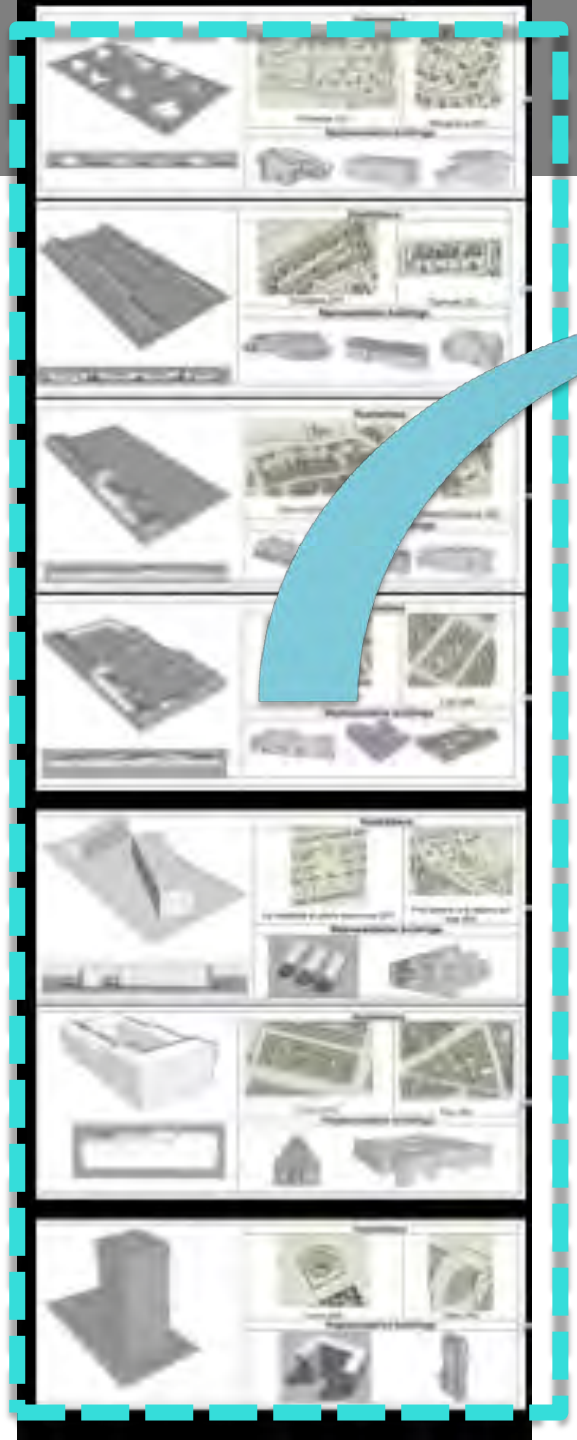
IMMEUBLE DE GRANDE HAUTEUR

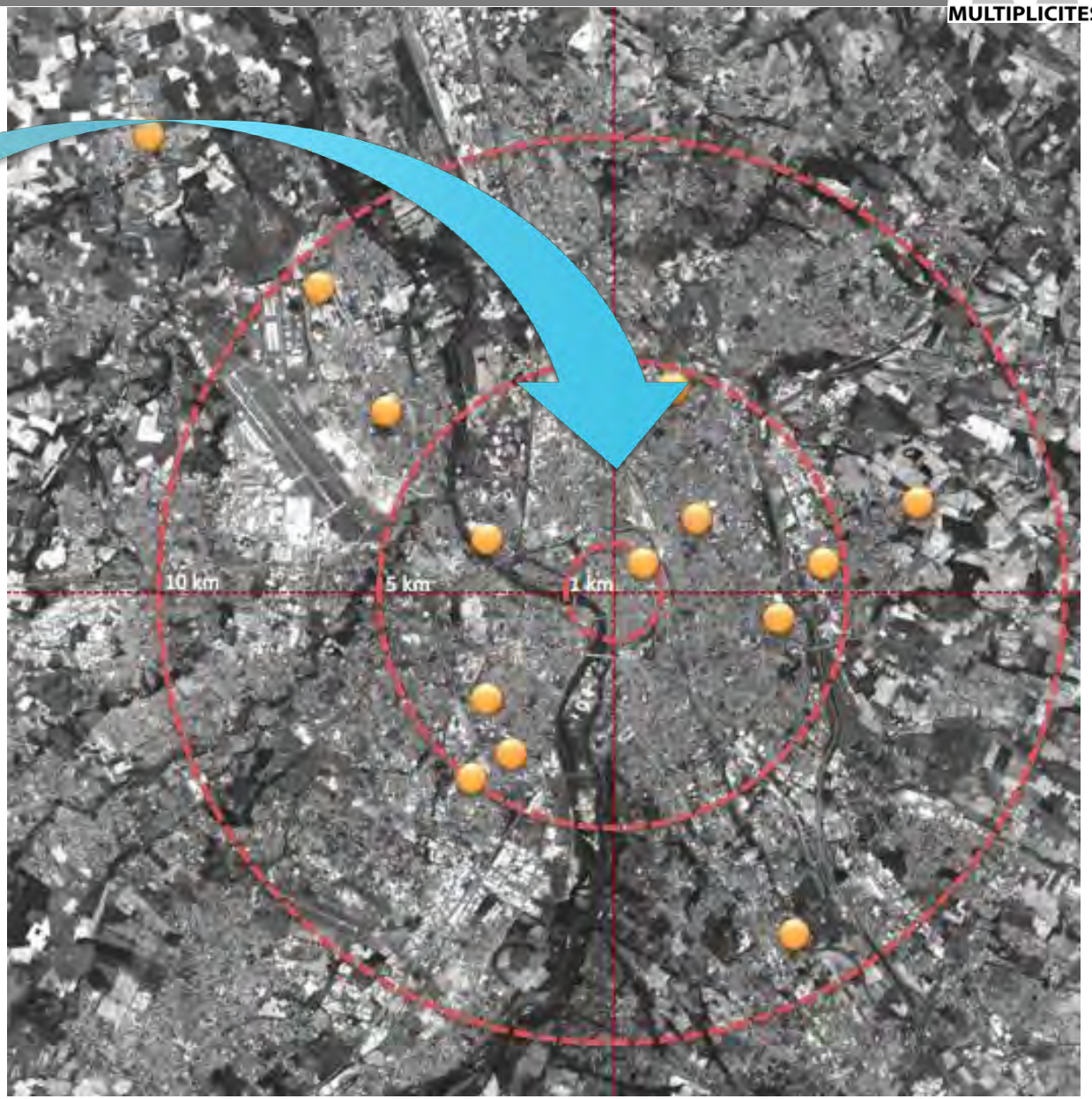
TYPOLOGIES URBAINE et ARCHITECTURALE

Typologies extraites du projet de recherche MApUCE (https://www.umr-cnrm.fr/ville.climat/spip.php?rubrique176)

ETUDE DE CAS

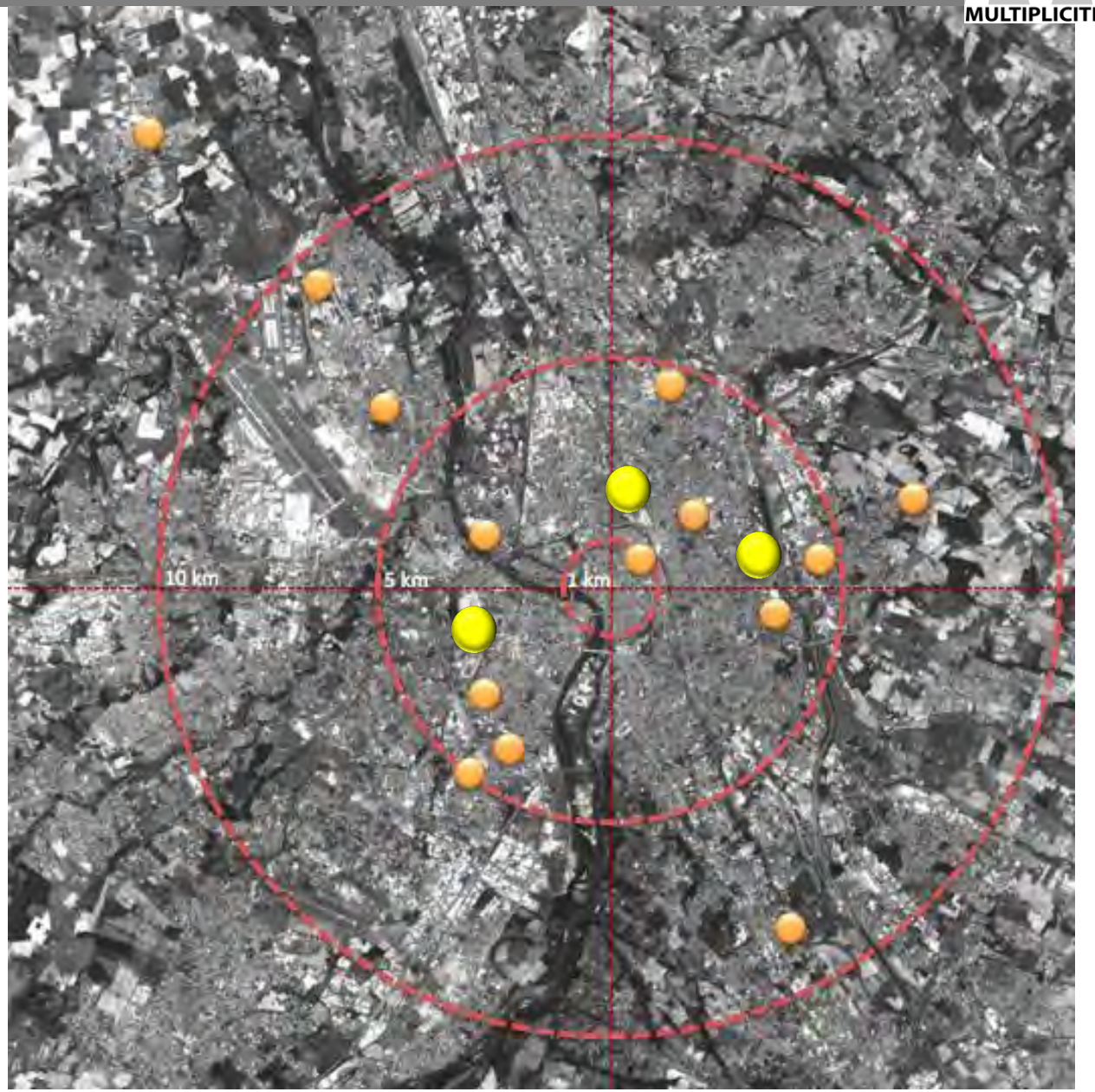
MULTIPLICITES





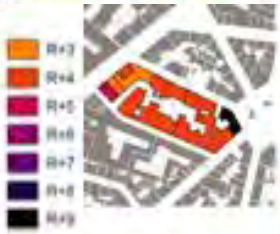
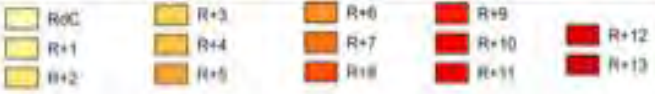
ETUDE DE CAS

MULTIPLICITES



ETUDE DE CAS

MULTIPLICITES

	Bagatelle (1955)	Belfort (av 1945 à 1980)	Château de l'Hers (1970)
	Pavillon semi continu (42 400 m2)	Immeuble sur ilot fermé (6 100 m2)	Immeuble sur ilot ouvert (72 000 m2)
Localisation du quartier étudié (en rouge)			
photographies			
Hauteur des édifices			
Hauteur des édifices du contexte environnant			
			

ETUDE DE CAS

MULTIPLICITES

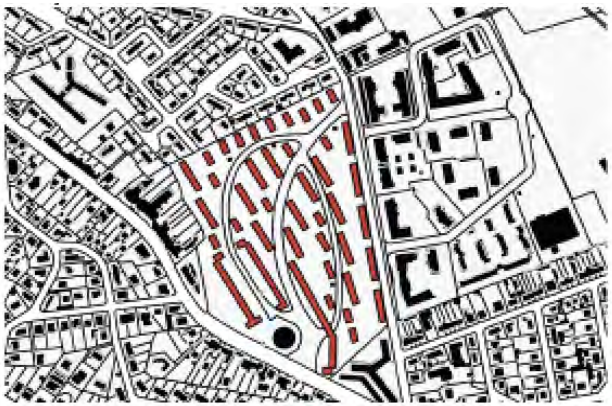
BAGATELLE
CITE CASTORS

Maisons jumelles composées de plusieurs îlots. Architecture commune des années 1950/1955, caractérisée par les premières auto-constructions.

CENTRE ANCIEN
ILOT BELFORT

Cité composée de maisons en bande indépendantes de la voirie. Architecture commune des années 1970/75.

CHÂTEAU DE L'HERS

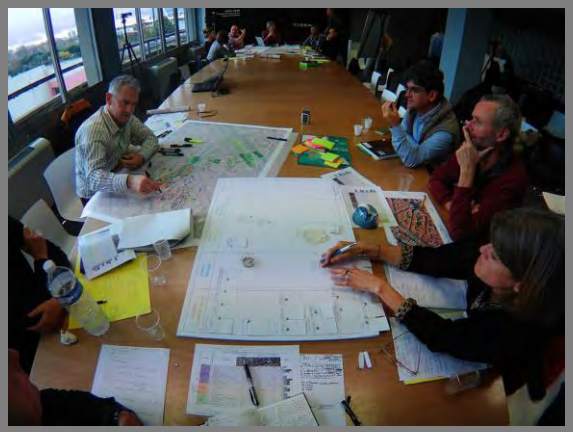


Cité composée de maisons en bande indépendantes de la voirie. Architecture commune des années 1970/75.

MULTIPLICITES

CO-CONSTRUCTION et ATELIERS PARTICIPATIFS

COMMENT LE PROJET DE RECHERCHE A ASSOCIÉ LE PUBLIC VISÉ ? QUEL FORMAT ? QUEL RÉCURRENCE ? QUEL EFFICACITÉ ? QUELS VECTEURS UTILISÉS ?



PRATIQUES OPERATIONNELLES	MEDIAS
mise en situation de projet avec différents acteurs des domaines de la construction	études de cas

ATELIER 1 : production du projet urbain

Eléments de départ :
- 3 études de cas contrastées (1, 2 et 3)
- mise en situation de projet

Objectifs :
- prise de connaissance
- sensibilisation

Attentes :
- analyse des enjeux énergétiques
- analyse des critères retenus
- production de projets urbains (1.1, 2.1 et 3.1)

études de cas

productions du projet urbain

ATELIER 1 :
production du projet urbain

Eléments de départ :
- 3 études de cas contrastées (1, 2 et 3)
- mise en situation de projet

Objectifs :
- prise de connaissance
- sensibilisation

Attentes :
- analyse des enjeux énergétiques
- analyse des critères retenus
- production de projets urbains (1.1, 2.1 et 3.1)

études de cas

productions du projet urbain

ANALYSE DE SENSIBILITÉ 1

ATELIER 2 :
évaluation du projet urbain

Eléments de départ :
- 3 productions de projets urbains (1.1, 2.1 et 3.1) analysées
- mise en situation de projet

Objectifs :
- appropriation des questionnements de l'évaluation énergétique

Attentes :
- production de 3 scénarios d'évaluation (1.2, 2.2 et 3.2) pour chaque étude de cas

productions analysées

scénarios d'évaluation

ATELIER 1 :
production du projet urbain

Eléments de départ :
- 3 études de cas contrastées (1, 2 et 3)
- mise en situation de projet

Objectifs :
- prise de connaissance
- sensibilisation

Attentes :
- analyse des enjeux énergétiques
- analyse des critères retenus
- production de projets urbains (1.1, 2.1 et 3.1)

ANALYSE DE SENSIBILITÉ 1

ATELIER 2 :
évaluation du projet urbain

Eléments de départ :
- 3 productions de projets urbains (1.1, 2.1 et 3.1) analysées
- mise en situation de projet

Objectifs :
- appropriation des questionnements de l'évaluation énergétique

Attentes :
- production de 3 scénarios d'évaluation (1.2, 2.2 et 3.2) pour chaque étude de cas

ANALYSE DE SENSIBILITÉ 2

ATELIER 3 :
optimisation projet urbain

Eléments de départ :
- 3 scénarios d'évaluation (1.2, 2.2 et 3.2) analysés
- mise en place d'un questionnaire

Objectifs :
- intégration des questionnements d'optimisation énergétique

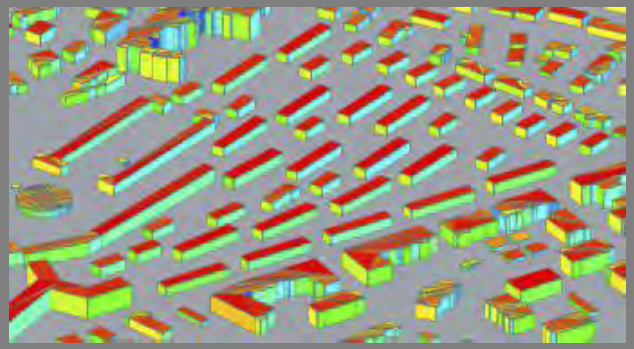
Attentes :
- production d'analyses d'optimisation (1.3, 2.3 et 3.3)

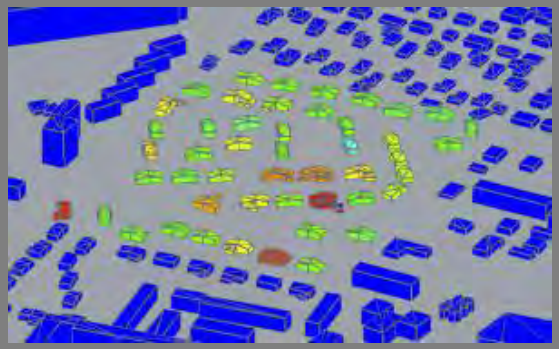
scénarios d'évaluation analysés

CO-PRODUCTION DE CONNAISSANCES

EVALUATION ENERGETIQUE DES ARCHETYPES et ANALYSE DE SENSIBILITÉ

QUELS ETAIENTS LES ATTENDUS?
QUELS RESULTATS ATTENDUS ?





EVALUATION ENERGETIQUE

Tâche 2

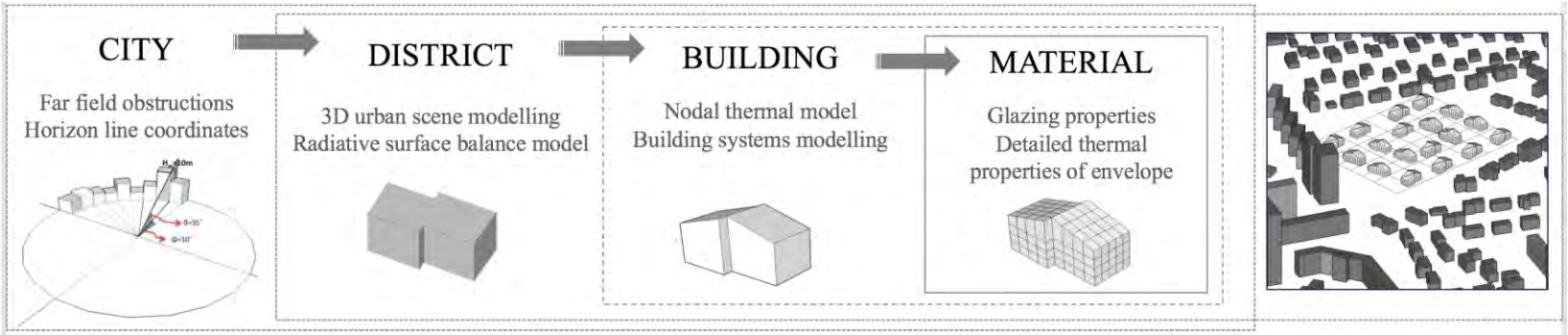
Une évaluation énergétique multi-échelle et multicritères

→ **Le potentiel solaire** des formes urbaines,

→ La **performance des enveloppes** quant aux apports solaires et les déperditions thermiques liées aux caractéristiques de leur matérialité.

→ Utilisation d'un outil de simulation énergétique.

=> **Approche adaptée dans CitySim** pour une modélisation multi-échelle :

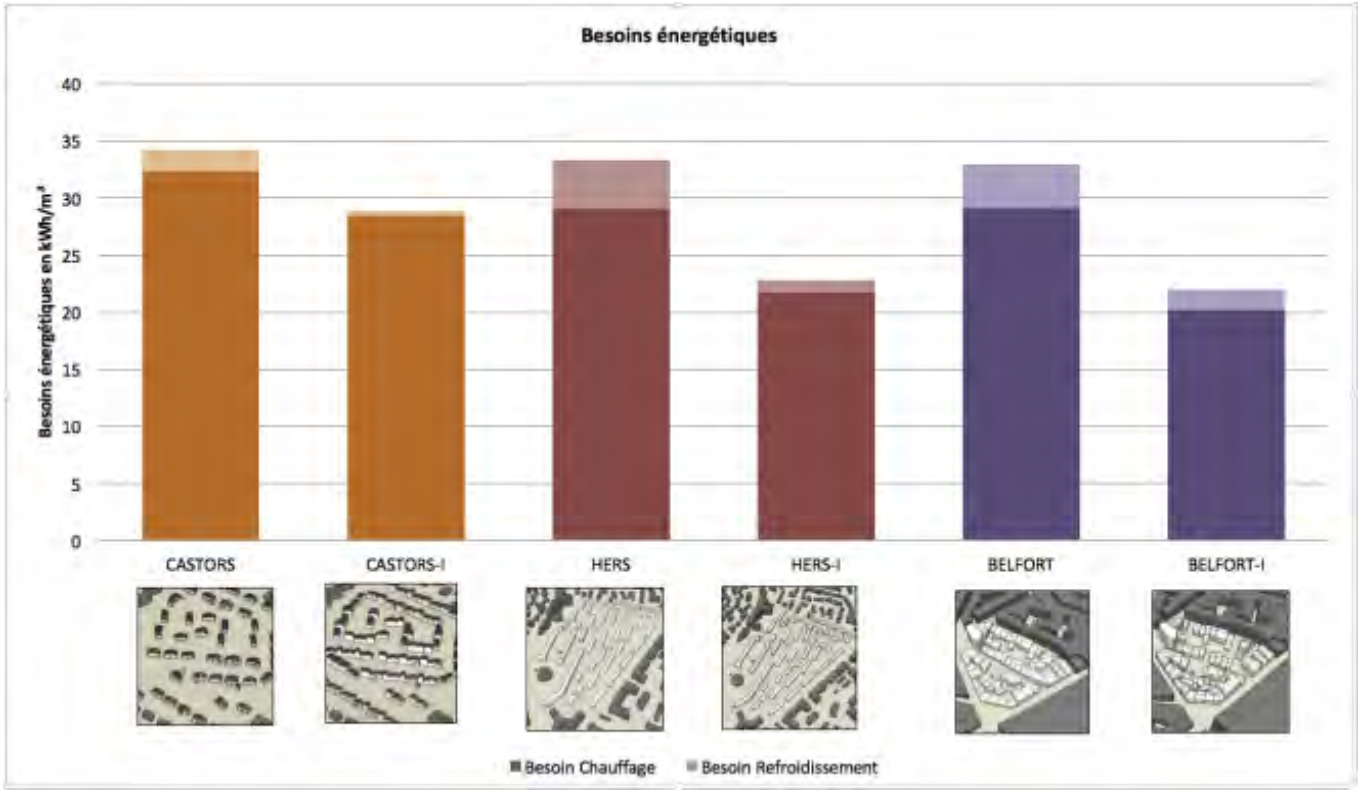


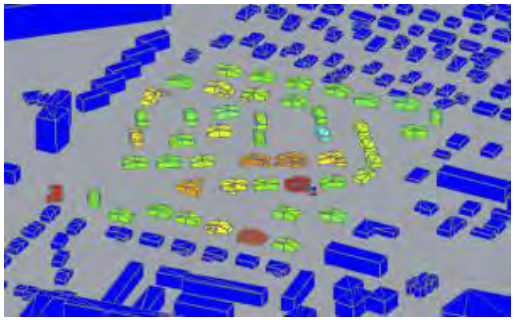
EVALUATION ENERGETIQUE

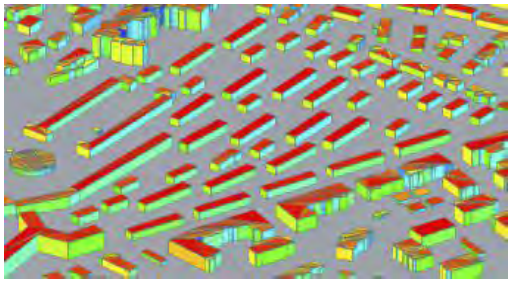
Tâche 2

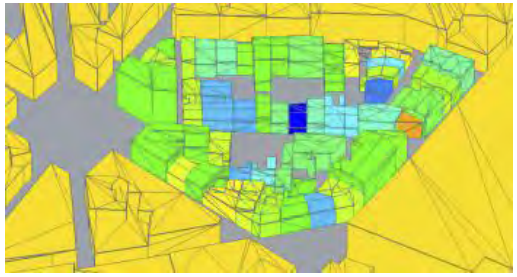
Une évaluation énergétique multi-échelle et multicritères

→ **Les besoins énergétiques des archétypes toulousains existants et modifiés par les acteurs urbains**









ANALYSE DE SENSIBILITE

MULTIPLICITES

Tâche 3

Une étude de sensibilité multi-échelle et multicritères énergétiques

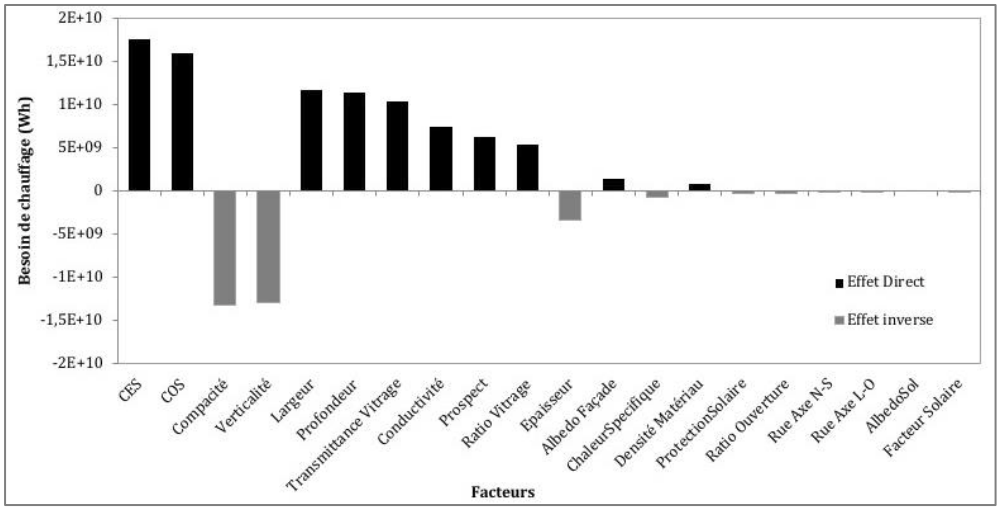
→ **Evaluer l'influence relative des facteurs** typo-morphologiques (définissant les archétypes urbains) sur le potentiel solaire, l'éclairage naturel et sur les besoins énergétiques;

→**Hiérarchiser les facteurs influents**

→**Conserver les plus signifiants** dans l'étude d'optimisation

1e temps : étude de sensibilité sur un modèle de forme urbaine générique soumis au climat de Toulouse.

Rue Axe E-O	Largeur (X)	Profondeur (Y)	Rue Axe N-S	Facteur Solaire(FS)	Coefficient Transmission thermique des vitrages	Albédo Sol	Coefficient. Transmission thermique des parois	Ratio vitrage	COS	CES	Compacité	Verticalité	Prospect moyen	Albédo Façade	Epaisseur murs	Conductivité	Protection solaire	Densité matériau	Chaleur Spécifique
m	m	m	m	/	W/m² K	/	W/m² K	%	/	/	/	/	/	/	m	W/ m²K	/	Kg/m³	J/Kg.K
3 ↓ 50	4 ↓ 40	4 ↓ 40	3 ↓ 30	0,1 ↓ 0,9	1,3 ↓ 5,0	0,1 ↓ 0,9	0,7 ↓ 4,8	0,2 ↓ 0,9	0,3 ↓ 10,3	0,05 ↓ 0,85	0,4 ↓ 1,0	0,01 ↓ 0,8	0,6 ↓ 3,9	0,1 ↓ 0,9	0,01 ↓ 0,6	0,02 ↓ 200	oui ↓ non	1,0 ↓ 2500	0,1 ↓ 0,9



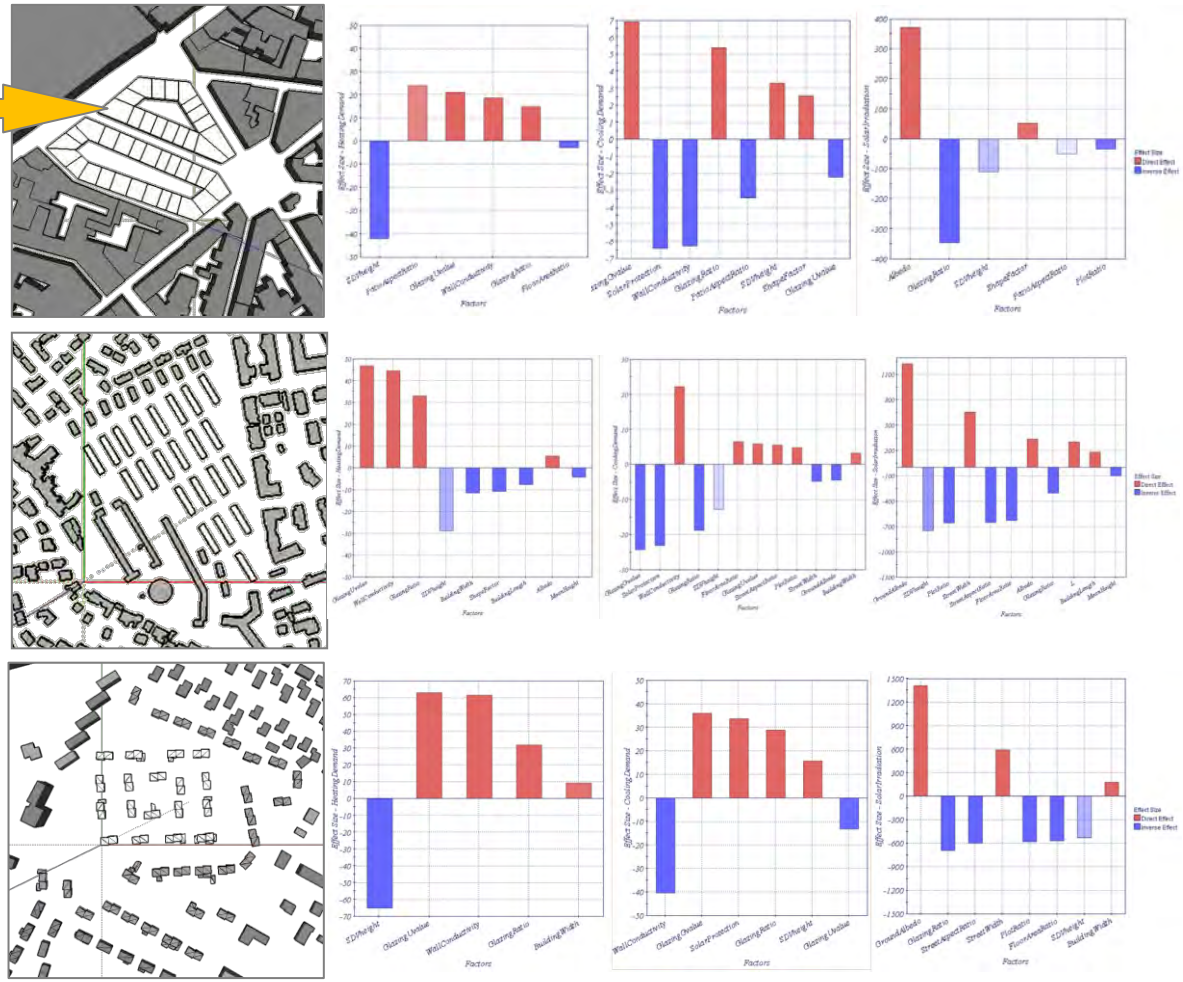
Résultats : dû à la grande liberté des facteurs variant sous une grille urbaine générique, les indicateurs de densité et de forme bâtie (compacité et verticalité) s'imposent sur tous les autres facteurs au regard de toutes les réponses énergétiques.

ANALYSE DE SENSIBILITE

MULTIPLICITES

2e temps : étude de sensibilité réalisée par quartier a permis de mettre en avant une hiérarchisation fine des indicateurs par rapport à chaque contexte urbain.

Résultats : on obtient de grandes variations dans l'hiérarchisation des facteurs par quartier. Par exemple, les indicateurs de forme tels que l'écart-type de la hauteur et le prospect du patio produisent plus d'effet sur les besoins de chauffage pour Belfort que les paramètres physiques des matériaux tels que la conductivité et le coefficient de transmission thermique du vitrage. L'inverse est vrai pour les barres de l'Hers.



ANALYSE DE SENSIBILITE

MULTIPLICITES

Hiérarchisation des facteurs typo-morphologiques selon leur influence relative dans les besoins de chauffage :

SCALE	TYPO-MORPHOLOGICAL FACTORS	Continuous buildings into close city block (Belfort)	Semi-continuous pavilion (Cité Castors)	Continuous buildings into open city block (Château de l'Hers)
Urban block	Floor Area Ratio	1,9 %	2,5 %	1 %
Urban block	Plot Ratio	0,4 %	1,9 %	0,6 %
Urban block	Shape Factor	1,6 %	0,4 %	5 %
Urban block	Patio aspect ratio	**17,7 % (2nd)**	0,0	0,0
Urban block	Aspect ratio	0,7 %	0,1 %	0,2 %
Urban block	Street Width (m)	Constant	0,6 %	0,8 %
Urban block	SDV Height (m)	**31,2 % (1st)**	**23,6 % (1st)**	**13,6 % (4th)**
Building	Building Width	Constant	3,4 %	5 %
Building	Building Length	Constant	0,0	5,3 %
Building	Solar protection device	0,8 %	2,2 %	1,8 %
Building	Openable ratio	0,1 %	0,4 %	0,1 %
Building	Height (m)	1,4 %	0,3 %	2 %
Building	Glazing ratio	11 % (5th)	**11,5 % (4th)**	**15,5 % (3rd)**
Envelope	Glazing G-value	1,3 %	2,1 %	1,8 %
Envelope	Glazing U-value	**15,7 % (3rd)**	**23 % (2nd)**	**22,1 % (1st)**
Envelope	Insulant thickness	0,2 %	1,1 %	0,5 %
Envelope	Wall density	0,0	1,3 %	1,1 %
Envelope	Material Specific heat	0,6 %	1 %	0,1 %
Envelope	Albedo	1,3 %	0,5 %	2,3 %
Envelope	Ground Albedo	0,1 %	2,1 %	0,2 %
Envelope	Wall conductivity	13,9 % (4th)	**22,5 % (3rd)**	**21 % (2nd)**

OPTIMISATION MULTIOBJECTIVE

QUELS ETAIENTS LES ATTENDUS?
QUELS RESULTATS ATTENDUS ?

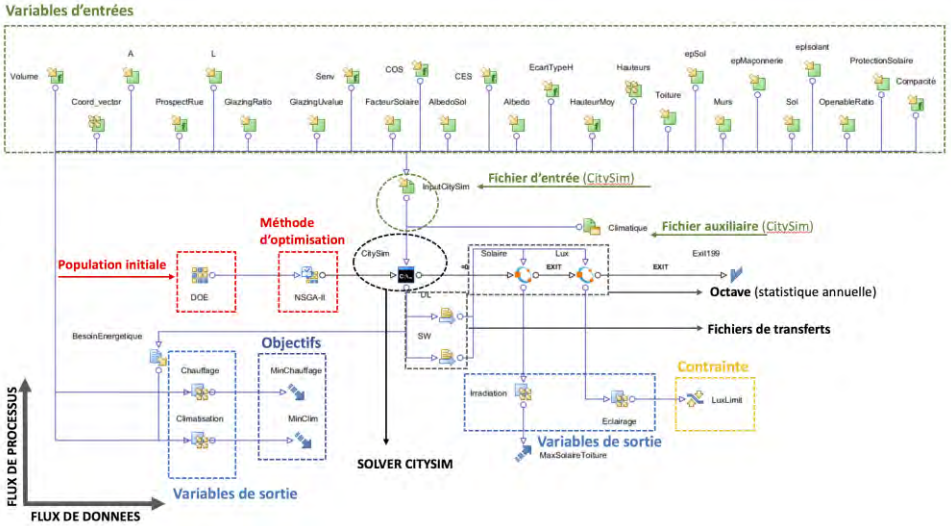
OPTIMISATION MULTICRITERES

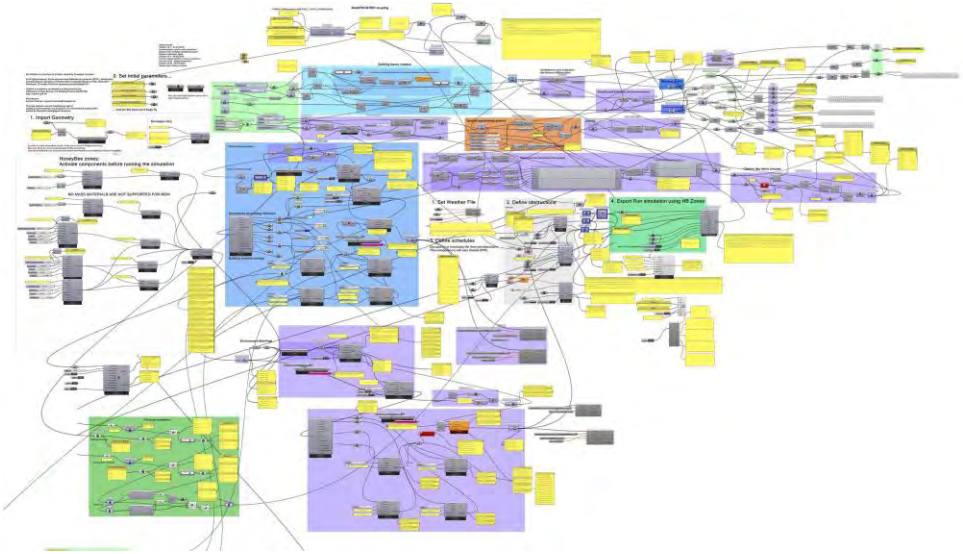
MULTIPLICITES

Tâche 3

Une optimisation énergétique multi-échelle et multicritères

- Identifier les meilleures solutions de projet permettant de minimiser les besoins énergétiques des bâtiments, tout en maximisant leurs potentiels de production d'énergie de source solaire
- Autoriser plusieurs critères à satisfaire simultanément, permettant un compromis entre des objectifs potentiellement contradictoires
- Exécuter un cycle de tâches qui se répètent jusqu'à ce que des configurations optimales soient atteintes, en tenant compte du plus grand nombre possibles de critères et de contraintes
- Utilisation de méthodes d'optimisation multi-objectives évolutionnaires (algorithme génétique NSGA-II codé dans l'environnement de modeFRONTIER)couplé avec Rhino/Grasshopper (modélisation paramétrique de la forme urbaine) et CitySim (calcul énergétique).





OPTIMISATION MULTICRITERES

Tâche 3

Une optimisation énergétique multi-échelle et multicritères

BELFORT

Immeuble continu sur îlot fermé

BELFORT

Géométrie simplifiée

Caractéristiques principales de l'archétype ont été conservées

OPTIMISATION MULTICRITERES

MULTIPLICITES

Tâche 3

Une optimisation énergétique multi-échelle et multicritères

BELFORT

Largeur bâtiments	Profondeur bâtiments	Hauteur minimale	Hauteur maximale	Orientation gradin (par rapport S-N)	Ratio d'emprises libres	Ratio vitrage	Albédo Façade	Epaisseur maçonnerie	Protection solaire	Coefficient Transmission thermique des vitrages	Facteur Solaire(FS)	Epaisseur isolant	Albédo Sol
m	m	m	m	°	%	%	/	m	/	W/m²K	/	m	/
21	12 ↓ 22	3 ↓ 30	3 ↓ 30	-90 ↓ +90	0,0 ↓ 0,5	0,1 ↓ 0,9	0.1 ↓ 0,9	0,1 ↓ 0,4	non	1,0 ↓ 5,0	0,1 ↓ 0,9	0,02 ↓ 0,3	0,1 ↓ 0,9

Paramétrisation

Facteurs typo-morphologiques de pertinence énergétique

Paramètres d'entrée architecturaux:

- Ensemble des emprises de l'îlot urbain
- Paramètres constructifs et matériaux des bâtiments :
  - Ratio de vitrage
  - Albédo (des façades et toiture)
  - Albédo du sol
  - Épaisseurs de maçonneries (mur, toiture, sols/planchers)

Paramètres morphologiques de l'archétype:

- Profondeur des bâtiments (1)
- Hauteur initiale du gradin (minimum) (2)
- Hauteur finale du gradin (maximum) (3)
- Orientation du gradin par rapport au nord (entre -90 and+90)(4)
- Ratio d'emprise libre de bâtiment (5)

BELFORT

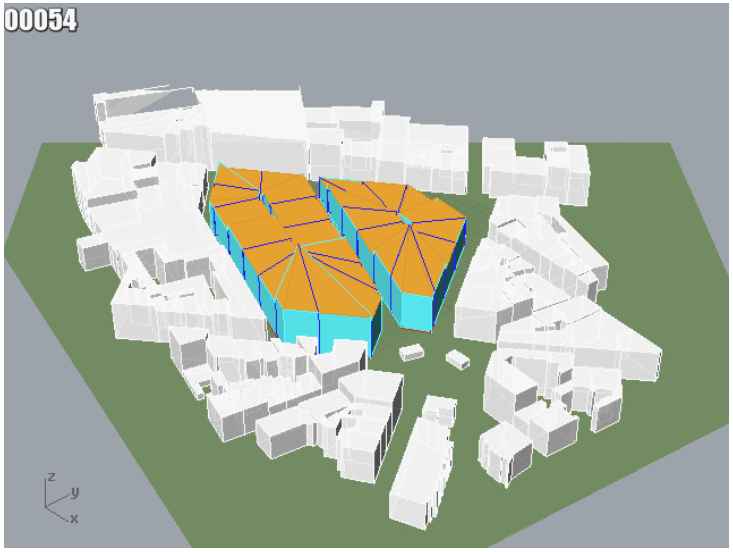
Géométrie simplifiée

Caractéristiques principales de l'archétype ont été conservées

OPTIMISATION MULTICRITERES

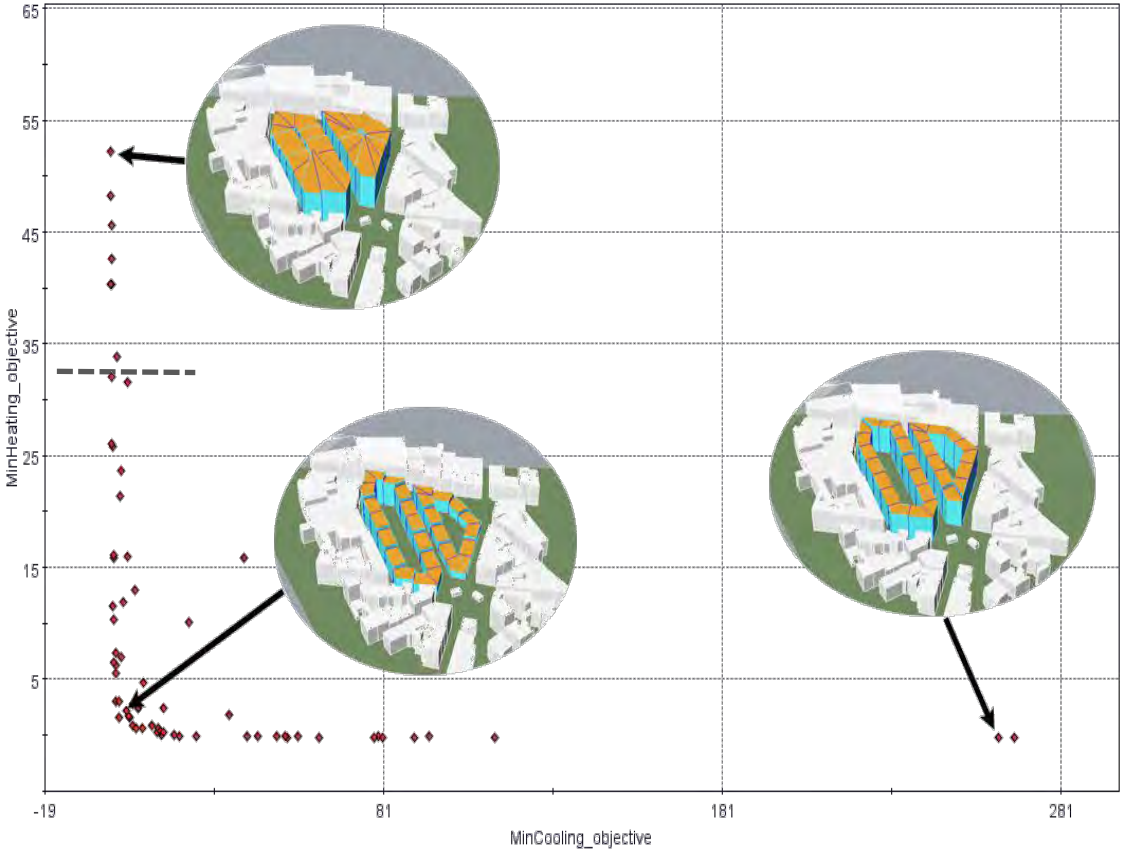
Tâche 3

Une optimisation énergétique multi-échelle et multicritères



Optimisation

Recherche des projets d'îlot optimaux

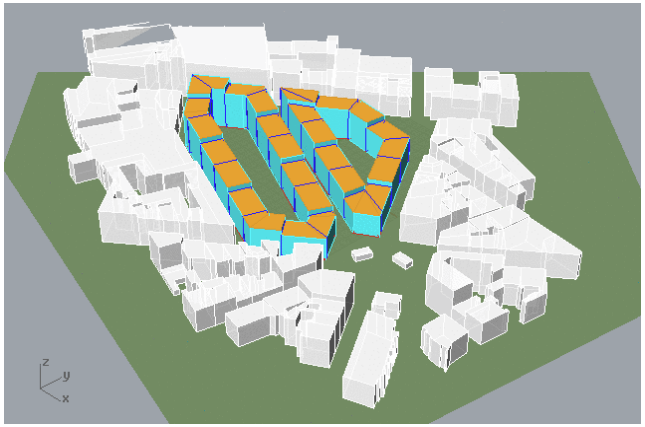


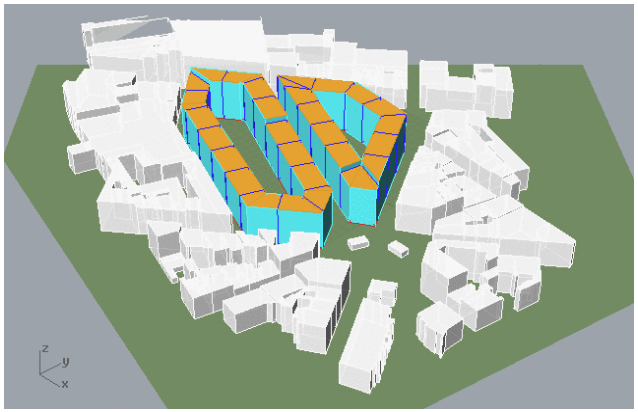
Frontière de Pareto

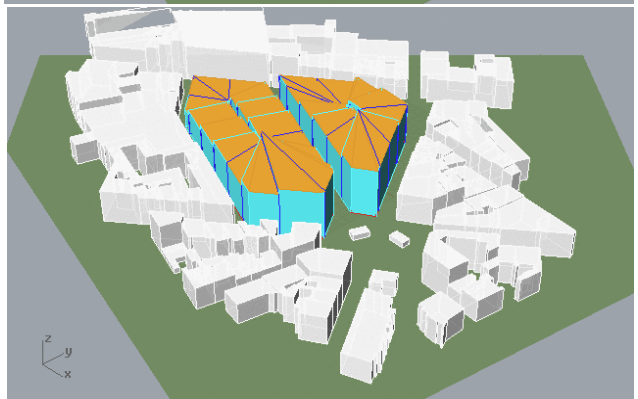
Solutions compromis entre objectifs distincts : minimisation des besoins de chauffage et de climatisation et maximisation du potentiel solaire sur les toitures

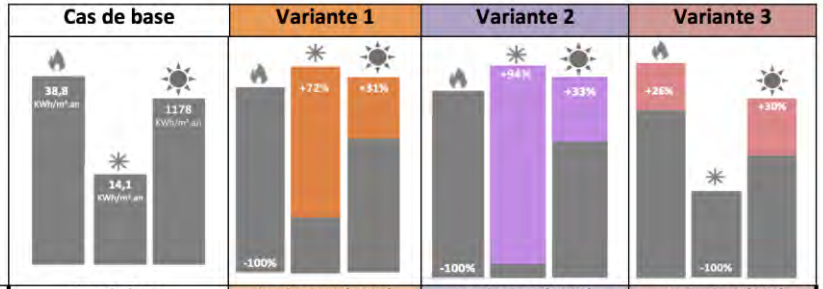
OPTIMISATION MULTICRITERES

MULTIPLICITES









	PARAMÈTRES/ VARIANTES	Cas de base	Variante 1 (1320)	Variante 2 (1202)	Variante 3 (902)
MORPHOLOGIE ILOT	COS	3,2	3,7	4,9	6,8
	CES	0,75	0,66	0,65	0,98
	COMPACITÉ	0,28	0,23	0,21	0,13
	PROSPECT MOYEN	2,1	0,83	1,09	2,78
	ECART-TYPE HAUTEUR	4,05	3,5	1,5	4,9
	HAUTEUR MOYENNE	17,9	17,3	22,6	20,4
	PROFONDEUR	--	12	12	22
	H. GRADIN / ORIENTATION	--	24m-12m/90°	21m-24m/0°	30m-9m/-90°
	RATIO VITRAGE	0,4	0,3	0,7	0,1
MATERIAUX	TYPE PAROIS VERTICALES	Brique non isolée	Bois isolé	Brique isolée	Béton isolé intérieur
	TYPE PAROIS HORIZONTALES	Charpente faiblement isolée	Dalle isolée extérieur	Dalle isolée intérieur	Dalle isolée intérieur
	EPAISSEUR MAÇONNERIE	0,30	0,20	0,30	0,20
	EPAISSEUR ISOLANT	0,02	0,3	0,23	0.02
	FACTEUR SOLAIRE VITRAGE	0,4	0,10	0,30	0,30
	COEFFICIENT U VITRAGE	1,6	2,0	5,0	1,0
	ALBEDO	0,7	0,4	0,3	0,1
	ALBEDO SOL	0,7	0,5	0,3	0,1
	BESOINS DE CHAUFFAGE (KWH/M³.AN)	**38,8**	**0,03**	**0,0**	**52,4**
	BESOINS DE CLIMATISATION (KWH/M³.AN)	**14,1**	**51,5**	**261,9**	**0,01**
	SOLARISATION (KWH/M² Toiture.AN)	**1178**	**1717**	**1740**	**1697**

VERS UNE BASE DE CONNAISSANCES

MULTIPLICITES

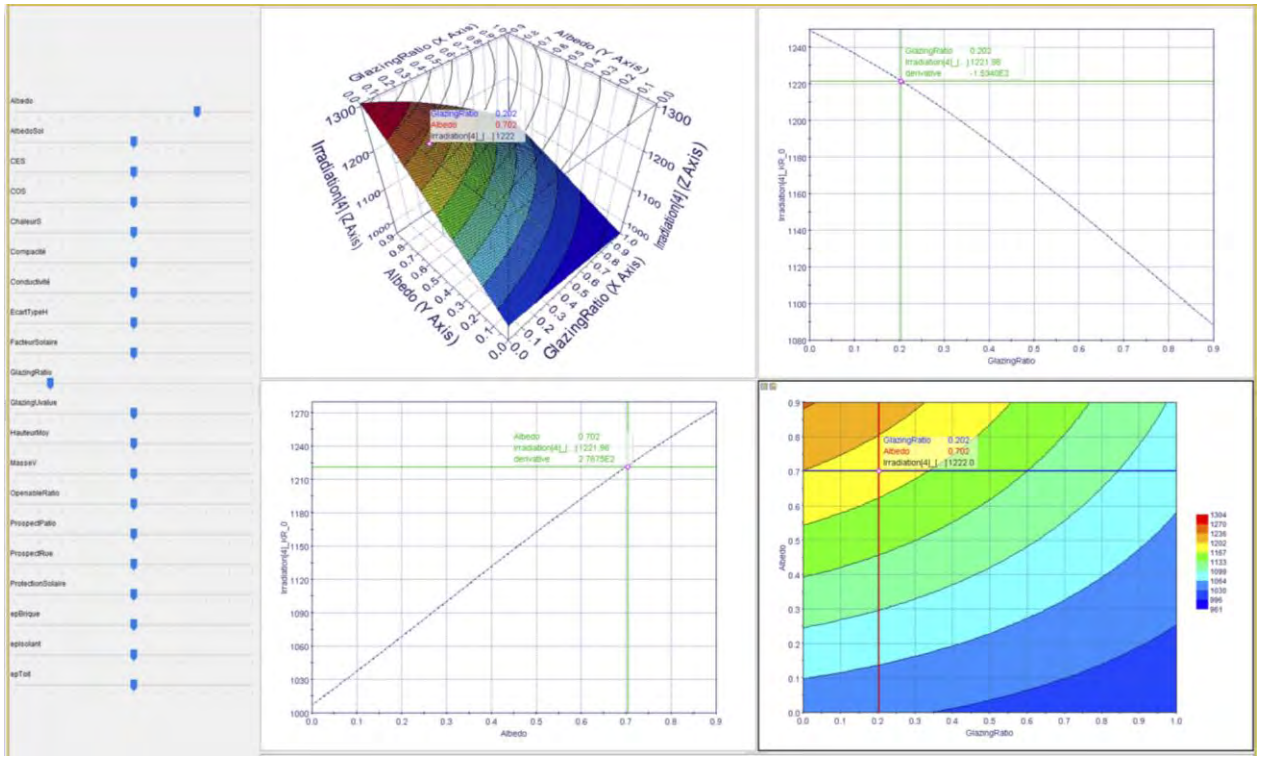
Tâche 5

Construction d'une base de connaissances pour l'aide à la décision

1e approche : la surface de réponse dans modeFRONTIER

- Permet le concepteur de choisir le meilleur projet selon les critères qui le conviennent le plus.

- Le modèle permet de calculer rapidement la nouvelle variante (par interpolation) à partir le jeu de variantes optimales initiales, tout en intégrant les nouvelles values souhaitées.



VERS UNE BASE DE CONNAISSANCES

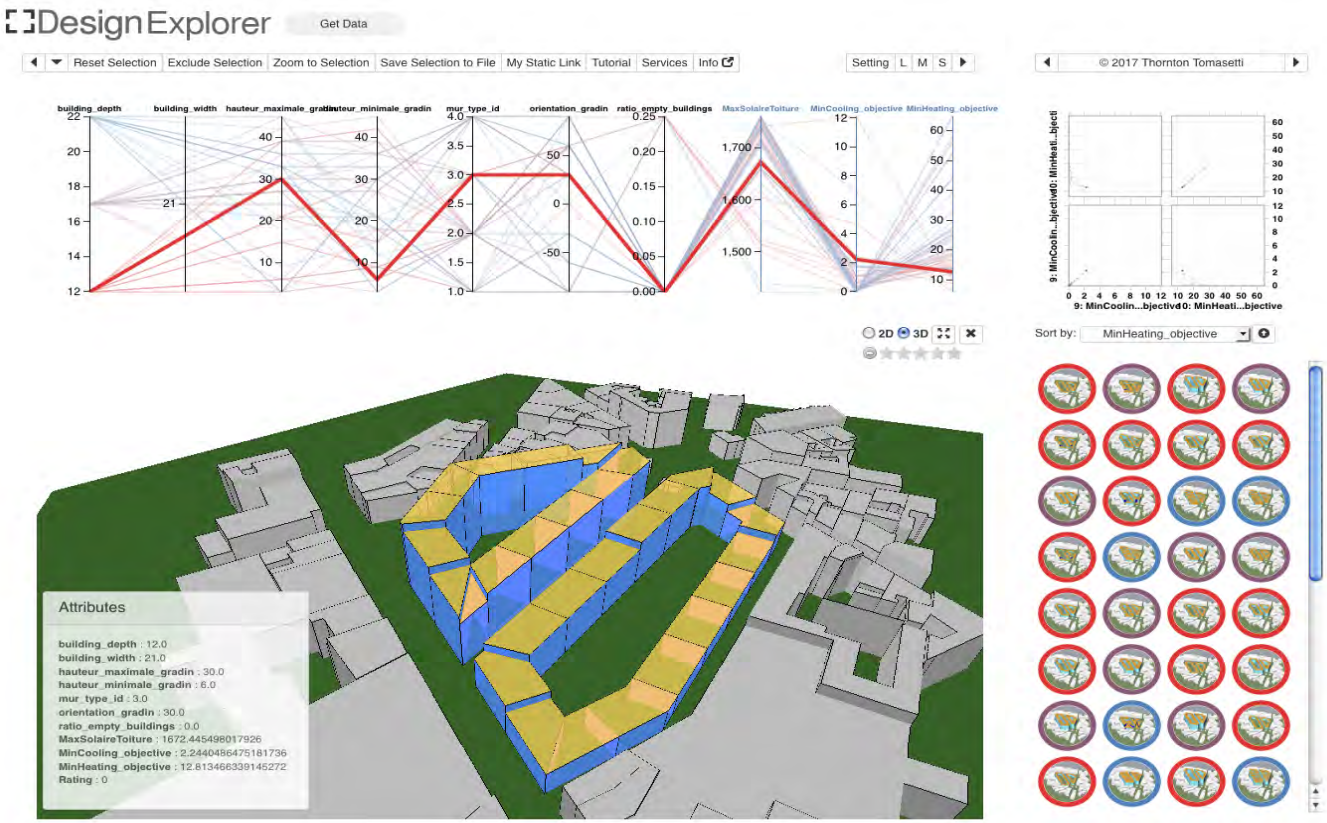
MULTIPLICITES

Tâche 5

Construction d'une base de connaissances pour l'aide à la décision

2e approche : base de données interactive libre en ligne

- L'espace de projets urbains a été généré dans l'environnement virtuel *DesignExplorer*
- Le concepteur peut parcourir et accéder interactivement à une information synthétique mais aussi exhaustive sur l'ensemble des variantes obtenues pour chaque archétype urbain.



CONCLUSION

MULTIPLICITES

MultipliCités en 4 plus-values :

- La définition d'archétypes urbains.
- Une étude de sensibilité énergétique de chaque archétype urbain.
- Une optimisation multidisciplinaire de chaque archétype urbain.
- Une réflexion commune chercheurs – acteurs dans des ateliers participatifs

CONCLUSION

MULTIPLICITES

Qui le projet de recherche a-t-il associé ?

Deux partenaires universitaires et deux partenaires institutionnels. Des acteurs de l'aménagement

Pourquoi ?

Croisement approches top-down et bottom-up.

Quelle place dans la chaîne de décision du projet urbain ?

Production de bases de connaissances situées exploitables en conception urbaine.

Comment le projet de recherche a associé le(s) public(s) visé(s) ?

Trois Ateliers participatifs s'inscrivant dans une progressivité :

1. Production du projet urbain, 2. évaluation du projet urbain, 3. optimisation du projet urbain.

Pourquoi : quels étaient les attendus de l'association des acteurs ?

La co-construction acteurs-chercheurs.

MULTIPLICITES

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

LRA

EEAMEA école européenne de l'art et des matières

Institut VILLE de la

aua/Toulouse aire urbaine