

ADAPTATIO



Convention de subvention
12-MCGOT-GICC-4-CVS-043
2012 – n° 2100 897 989

**Intégration de l'adaptation au changement climatique dans la conception des projets
d'aménagements urbains : nouveau(x) outil(s) et nouveau(x) métier(s)**

ADAPTATIO

Rapport scientifique – février 2015

| | |
|---------------------------------|--|
| Acronyme | ADAPTATIO |
| Titre du projet | Intégration de l'adaptation au changement climatique dans la conception des projets d'aménagements urbains : nouveau(x) outil(s) et nouveau(x) métier(s) |
| Mots-clés | Adaptation, changement climatique, projet d'aménagement, outil d'aide à la décision, designer, énergie, eau, économie |
| Durée /date de démarrage | 24 mois / novembre 2012 |
| Appel à projets | Programme Gestion et Impacts du Changement Climatique - Appel à Propositions de Recherche 2012 |
| Partenaires | <ul style="list-style-type: none">- Equipe de Recherche- Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris (EIVP) – porteur du projet- EGIS Concept, Elioth- CSTB, Département Economie et Sciences Humaines- CDC Climat- Ville de Paris |
| Coordinateur | COLOMBERT, Morgane, Enseignant-chercheur, responsable du pôle énergie-climat, Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris, 80 rue Rébeval 75019 Paris, tél : 01 56 02 11 61, fax : 01 56 02 61 25, mél. : morgane.colombert@eivp-paris.fr |

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 4 |
| 1. Prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans les projets d'aménagement urbain | 5 |
| 1.1 Prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans les démarches actuelles visant à un aménagement urbain durable..... | 5 |
| 1.2 Bilan des travaux de recherche en France sur la prise en compte de l'ACC..... | 8 |
| 1.3 Présentation de l'étude de cas : le secteur d'aménagement Tolbiac Chevaleret | 11 |
| 2. Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité énergétique, hydrique et économique de l'étude de cas | 14 |
| 2.1 Evaluation des besoins énergétiques des bâtiments : le modèle Clim'Elioth | 14 |
| 2.2 Modifications microclimatiques et analyse des besoins hydriques : les apports du modèle ENVI-Met..... | 16 |
| 2.3 Les apports de l'analyse économique à l'échelle de Tolbiac Chevaleret..... | 19 |
| 2.4 Croisement des analyses : la toolbox Adaptatio | 21 |
| 3. Prise en compte de l'ACC dans le cadre de Tolbiac Chevaleret | 25 |
| 3.1 Mesures d'ACC considérées à l'échelle du bâtiment..... | 25 |
| 3.2 Mesures d'ACC considérées à l'échelle du projet d'aménagement (EIVP, 2p.)..... | 28 |
| 3.3 Evaluation des coûts et comparaison des scénarios adaptés et non adaptés..... | 30 |
| 3.4 Réflexion sur l'accompagnement auprès des acteurs d'un aménagement pour intégrer l'adaptation au changement climatique : les ateliers de réflexion conjointe opérationnels – chercheurs et les apports de la pensée « design thinking » | 33 |
| 4. Bilan et perspectives..... | 37 |
| 5. Bibliographie | 39 |
| Annexes..... | 41 |
| A. Valorisations (publications et communications) | 42 |
| B. Résumés courts..... | 44 |
| a. Résumé..... | 44 |
| b. Abstract..... | 45 |
| C. Synthèses | 46 |
| a. Synthèse..... | 46 |
| b. Summary | 49 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| <i>Tableau 1 : Présence d'enjeux, d'objectifs, d'actions, de critères ou d'indicateurs en relation avec l'adaptation au changement climatique</i> | 7 |
| <i>Tableau 2 : identification des projets analysés et de leurs approches</i> | 9 |
| <i>Tableau 3 : Trois scénarios d'augmentation du prix des énergies d'ici 2050</i> | 20 |
| <i>Tableau 4 : Trois scénarios d'augmentation du prix de l'eau non potable d'ici 2050</i> | 20 |
| <i>Tableau 5 : Scénarios testés pour les logements</i> | 28 |
| <i>Tableau 6 : Scénarios testés pour les bureaux</i> | 28 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| <i>Figure 1 : Plan d'aménagement du quartier Tolbiac-Chevaleret. © Semapa</i> | 11 |
| <i>Figure 2 : Architecture du modèle d'ENVI-MET (http://www.envi-met.com/)</i> | 17 |
| <i>Figure 3 : Modélisation de la ZAC Tolbiac Chevaleret (Cas de base) sur ENVI-met 3.1</i> | 19 |
| <i>Figure 4 : Présentation des différents onglets de la toolbox</i> | 22 |
| <i>Figure 5 : Notice de la toolbox</i> | 27 |
| <i>Figure 6 : section 'besoins' de la toolbox</i> | 29 |
| <i>Figure 7 : Principe de raisonnement pour l'analyse du surcoût</i> | 30 |
| <i>Figure 8 : choix des systèmes énergétiques au sein de la Tollbox</i> | 31 |
| <i>Figure 9 : Onglet coût de la toolbox</i> | 32 |

Acronyme

ACC : Adaptation au changement climatique

CC : Changement Climatique

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

ONERC : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique

GES : Gaz à Effet de Serre

Introduction

Le cadre bâti, constitué des bâtiments et des réseaux (de surface, aériens et souterrains) qui les relie, est par nature exposé aux agents climatiques. Une des fonctions essentielles des bâtiments n'est-elle pas d'ailleurs la protection du groupe humain contre les vicissitudes du climat ? Tempêtes, orages, crues des fleuves voisins, inondations par ruissellement, chaleur, froid ont été, sont et seront le lot des villes suivant leur localisation. Ces relations très anciennes et imparables ont conduit à des constructions adaptées aux dominantes climatiques des lieux : les igloos, les maisons à patio, les bâtiments compacts à toits pentus, les quartiers souterrains sont quelques-uns parmi les nombreux exemples confirmant cette intimité entre le climat local et le cadre bâti. Les impacts du climat dépassent souvent l'échelle du cadre bâti regroupé (zone urbaine) ou dispersé (zone rurale) pour concerner des territoires entiers.

Jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle, la construction du patrimoine bâti a reposé sur l'utilisation majoritaire des matériaux disponibles localement. L'avènement de procédés de construction et d'équipements inédits dès la fin du XIX^{ème} siècle et au cours du XX^{ème} siècle (béton armé, verre float, climatiseurs, ascenseurs, ...) a ouvert le champ des possibles et profondément modifié le cadre bâti (notamment urbain) avec l'apparition de bâtiments élevés, aux façades parfois quasi totalement vitrées.

Les constructions traditionnelles et récentes sont adaptées en ce sens qu'elles assurent les fonctions premières de protection des personnes et des biens face aux effets d'aléas d'origine climatique. Au fur et à mesure de l'enrichissement des sociétés, de nouvelles déclinaisons des fonctions attendues du cadre bâti se sont faites jour. Le maintien d'une ambiance égale dans les bâtiments en toutes saisons est ainsi devenu possible au prix d'une dépense énergétique facilement consentie du fait de la modestie du coût de l'énergie au XX^{ème} siècle.

L'émergence probable d'une nouvelle donne climatique à brève échéance (à l'échelle des périodes séculaires précédentes au cours desquelles le cadre bâti a été adapté aux conditions climatiques locales) et des évolutions des prix de l'énergie portent en elles des facteurs pouvant conduire à de nouveaux changements, de nouvelles évolutions.

Le projet ADAPTATIO s'inscrit dans ces réflexions sur les conséquences à moyen terme d'une nouvelle donne climatique. Il a permis de réfléchir sur les moyens aujourd'hui disponibles pour aborder lors de la conception de projets d'aménagement la question de l'adaptation au changement climatique (ACC) conjointement à celle de l'atténuation, de la mitigation (**partie 1**). Pour cela, le caractère adapté a été défini en fonction de deux ressources clés pour demain - l'eau et l'énergie - et sur l'évaluation économique de ces deux consommations (**partie 2**). En effet, aujourd'hui, l'évaluation des consommations énergétiques s'appuie uniquement sur les données actuelles de température, ce qui implique que la qualité énergétique des aménagements est aujourd'hui évaluée à l'aune d'un climat passé et non futur. Les réflexions menées dans le cadre du projet ADAPTATIO ont permis à la fois le développement d'un outil simple de représentation des consommations énergétiques et d'eau d'un projet d'aménagement selon différents scénarios climatiques et de discuter sur une nouvelle organisation de la réflexion autour des enjeux énergétiques lors d'un projet en faisant intervenir l'ensemble des parties prenantes d'un projet pour les associer au processus d'innovation (**partie 3**).

1. Prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans les projets d'aménagement urbain

Le projet ADAPTATIO s'inscrit dans une réflexion sur l'adaptation au changement climatique portée par de nombreux organismes. Afin de positionner notre projet dans ce contexte en évolution permanente, nous avons effectué durant la première année à la fois un état des lieux sur la prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans les démarches actuelles visant à un aménagement urbain durable (**partie 1.1**) et une analyse des projets de recherche portant sur l'adaptation au changement climatique en milieu urbain (**partie 1.2**). Notre terrain d'étude était celui de la Ville de Paris et nous avons plus particulièrement sélectionné le secteur d'aménagement de Tolbiac-Chevaleret dans le 13^{ème} arrondissement. En plus d'une analyse principalement documentaire afin de souligner les potentiels choix relatifs à des problématiques d'adaptation au changement climatique, nous avons également interrogé plusieurs chefs de projet de la direction de l'urbanisme de la Ville de Paris afin de saisir la perception d'un sujet tel que l'ACC (**partie 1.3**).

1.1 Prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans les démarches actuelles visant à un aménagement urbain durable

Comme le signale le rapport de l'ONERC de 2010 sur « villes et adaptation au changement climatique » (ONERC, 2010), il existe déjà à l'échelle des territoires un certain nombre d'actions et de politiques n'étant pas présentées comme étant de l'ordre de l'ACC mais concourant néanmoins à cela. Sont ainsi cités : le recensement régulier des aléas climatiques (inventaire communal des crues, établissement de repères, atlas des zones inondables...); les plans de prévention des risques naturels ; les mesures axées sur la prévention, la sensibilisation et la protection de la population aux différents risques climatiques ; l'information de la population sur des risques plausibles (document d'information communal sur les risques majeurs) ; la préparation d'une situation d'urgence (plan communal de sauvegarde, tempêtes, canicule...) ; La protection de la population face à un risque imminent ou avéré (carte de vigilance, plan canicule...).

A l'échelle des aménagements, des actions peuvent également être engagées et permettre de s'adapter au CC sans avoir cette finalité première. C'est ce que nous avons souhaité analyser au travers des outils aujourd'hui mis en œuvre à cette échelle.

Il existe un grand nombre de démarches permettant d'accompagner les différents acteurs d'un projet d'aménagement urbain pour intégrer les différents enjeux liés au développement durable. Différents travaux ont permis d'en recenser et de distinguer les approches (de la démarche de réflexion, à la certification en passant par les guides, les outils de questionnement, etc.) (Aulagnier et al., 2011. Fritsch et al., 2011).

Ces démarches ont été mises en œuvre afin de répondre à un besoin d'intégration des enjeux de développement durable ou d'environnement dans les pratiques de l'aménagement. Elles sont complémentaires de celles mises en œuvre aux échelles du bâtiment (HQE, BREEAM, LEED, DGNB, etc.) ou d'un territoire (Label Cit'ergie, Diagnostic territorial de R.E.S.P.E.C.T, Profil environnemental territorial dressé par la DREAL pour 16 territoires du Nord Pas de Calais, référentiel Agenda 21, Plan

Climat Energie et Territoire, CASBEE City (Japon), STAR Community Index (Etats-unis), méthode européenne RFSC, etc.).

Pour analyser de façon plus précise la manière dont est abordée ou non l'ACC, nous avons sélectionné plusieurs documents en fonction de leur utilisation par les professionnels de l'aménagement, leur proximité à notre terrain d'étude (Paris) et/ou leur potentiel lien avec les enjeux de l'adaptation au changement climatique.

Pour chacune de ces méthodes ont été mis en évidence : 1/ la finalité ; 2/ les utilisateurs ; 3/ les phase(s) de projet concernées ; 4/ les thématiques, axes abordés ; 5/ la formulation d'enjeux, d'objectifs, d'actions en relation avec l'adaptation au changement climatique, critères ; 6/ les indicateurs¹ concernant l'ACC.

Cette analyse a permis de mettre en évidence ou de conforter un certain nombre de points.

L'importance ou, tout au moins, la forte présence de la thématique 'changement climatique' et de ses différents enjeux (atténuation & adaptation) se répercute de façon directe sur les méthodes utilisées par les professionnels de l'aménagement pour qualifier leurs projets. Néanmoins, autant la question de l'atténuation du CC, via l'efficacité énergétique notamment, est fortement présente, autant les questions d'ACC se font plus discrètes et/ou de façon indirectes. Elles sont néanmoins toujours présentes (cf. tableau 1). Cette présence s'appuie principalement sur des éléments liés à l'urbanisme et l'architecture bioclimatiques où l'adaptation de l'aménagement et d'un bâtiment à son milieu et à son climat sont un élément clé.

Les méthodes les plus enclines à tenir compte de l'ACC sont par ailleurs les méthodes les plus récentes (démarche Ecoquartier, CBDD®2013) ou encore celles développées par les collectivités elles-mêmes (Guide développement durable de Montpellier, Référentiel aménagement durable de la Ville de Paris). Une analyse plus complète de l'ensemble des méthodes aujourd'hui développées serait néanmoins nécessaire pour confirmer ce point. La prise en compte de spécificités territoriales (ilot de chaleur urbain, climat méditerranéen) et les sorties récentes d'un nombre important de documents stratégiques européens ou français sur la question de l'ACC peuvent venir pour partie expliquer ce constat.

Le confort d'été est un des thèmes les plus abordés en relation avec l'ACC. En effet, nous retrouvons la question du confort d'été ou de la problématique des îlots de chaleur au sein de l'ensemble des documents étudiés. La relation entre confort thermique et végétation est d'ailleurs un élément mis en avant dans la majorité des méthodes. L'eau est pour sa part abordée plutôt en tant que ressources que comme un élément de confort climatique.

¹ Il est important de définir deux termes qui reviennent régulièrement dans les outils d'évaluations : critère et indicateur. En effet, il y a souvent une grande confusion entre ces deux termes. Le critère exprime les caractéristiques attendues d'un produit, d'un service ou d'un process. Il correspond à la cible que l'on souhaite atteindre, et ce par rapport à quoi on va émettre un jugement de valeur. L'indicateur permet lui de porter cette appréciation, ce jugement de valeur. Il s'appuie sur les informations que l'on peut collecter, formaliser, objectiver. Il permet de vérifier l'existence et le degré de présence du critère. Par exemple, le critère 'capacité d'un aménagement à accroître la biodiversité sur les bâtiments et dans les espaces publics' pourra être apprécié via les indicateurs suivants : nombres d'arbres plantés, m² d'espaces plantés...

ADAPTATIO

La relation entre atténuation et ACC n'est pour sa part jamais explicitée malgré la nécessité de penser ces deux enjeux de façon conjointe. C'est également le cas de la mal-adaptation.

La plupart des méthodologies font plus grands cas de l'adaptation climatique (situation présente) que de l'adaptation au changement climatique (situation future). Par ailleurs, certaines méthodologies comme HQE aménagement vont préférer parler de manière générale d'adaptabilité et d'évolutivité, et ainsi s'intéresser aux évolutions environnementales mais aussi socio-économiques : « Le 21^{ème} siècle vivra une série d'évolutions, dont certaines sont déjà amorcées : transition technologique, transition écologique, vieillissement de la population, multiplication des communications en réseau, ... L'aménagement devra s'adapter à ces évolutions. »

Tableau 1 : Présence d'enjeux, d'objectifs, d'actions, de critères ou d'indicateurs en relation avec l'adaptation au changement climatique

| Méthodes | Thèmes pris en compte |
|---|--|
| HQE Aménagement | Hors ACC :       |
| LEED for Neighborhood Development – LEED ND (Etats-Unis) |      |
| BREEAM Communities (Grande-Bretagne) |       |
| Référentiel aménagement durable de la Ville de Paris | Hors ACC :     ACC :    |
| Référentiel en aménagement urbain dénommé AURA (Améliorer l'Urbanisme par un Référentiel d'Aménagement) Guide développement durable de Montpellier | ACC :      |
| Méthode HQE ² R et le système ISDIS |      |
| RST02 | Hors ACC :   ACC :   |
| Approche Environnementale de l'Urbanisme – AEU |     |
| Démarche Ecoquartier – Grille concours EcoQuartier – Label EcoQuartier | ACC :       |
| @d aménagement durable® |   |
| CBDD®2013 | Hors ACC :  ACC :     |
| LEGENDE | |
| Présence d'éléments ACC | |
|  Présent indirectement |  Présent |
| Solutions, leviers, thèmes abordés | |
|  Situation de crise, risques |  Cadre bâti  Végétation  Ilot de chaleur urbain  Eau |

La présence au sein de la méthodologie d'éléments portant sur l'ACC n'est cependant pas gage d'une prise en compte efficace. Les indicateurs sélectionnés pour qualifier les critères en lien avec l'ACC montrent en effet soit :

- Un rapprochement de la thématique ACC avec un autre problème déjà présent : « type et qualité de l'isolation du bâti extérieur et intérieur et végétalisation » (Référentiel aménagement durable de la Ville de Paris) ; « % de surface de canopée (surface totale de canopée à terme des arbres de moyen et grand développement rapportée à la surface totale non bâtie du secteur d'étude) » (Guide développement durable de Montpellier)
- Une proposition d'indicateurs dont l'évaluation semble peu aisée : « écart de température avant et après les travaux en cas de fortes chaleurs » (Référentiel aménagement durable de la Ville de Paris)
- Une absence de gradation dans l'évaluation : De * à *** en fonction du cumul des réponses positives apportées aux questions suivantes : 1/ Existe-t-il un PCET (ou un document équivalent) sur le territoire intégrant un volet relatif à l'ACC ? (*). 2/ Y a-t-il eu des simulations dynamiques de température de confort au regard des différentes hypothèses de CC ? (*). 3/ Les contraintes liées au CC ont-elles été intégrées dans la conception du quartier, des bâtiments et des espaces publics ? (*) (démarche Ecoquartier)
- Ou encore l'absence même de proposition d'indicateurs : CBDD®2013

Il reste donc aujourd'hui un travail important à effectuer pour accompagner les collectivités et les aménageurs dans la prise en compte de l'adaptation au changement climatique, que cela se fasse ou non au travers de l'amélioration de ces outils et méthodes. Les travaux de recherche peuvent participer à cet objectif.

1.2 Bilan des travaux de recherche en France sur la prise en compte de l'ACC

Le changement n'est pas inconnu dans le monde de la construction et de l'aménagement mais la rapidité potentiellement induite par la dynamique probable d'évolution climatique peut représenter un challenge inédit. C'est dans ce contexte que sont menés des travaux de recherche pour explorer la notion d'adaptation ainsi que les conditions de sa mise en œuvre.

Quelques-unes de ces recherches ont été analysées au cours du projet ADAPTATIO avec l'objectif de faire ressortir des éléments structurant ces travaux comme leurs motivations, leurs approches, les échelles d'analyse, les outils mobilisés, les voies d'adaptation explorées afin de nourrir la réflexion propre au projet ADAPTATIO.

Les vingt-quatre projets de recherche retenus couvrent des échelles allant du bâtiment au territoire et les aléas les plus courants en France métropolitaine. Quatre catégories d'approche émergent de l'analyse de ces projets :

- catégorie 1 : 'caractérisation, connaissance sur les systèmes et milieux' visant à cadrer les facteurs climatiques locaux d'influence.
- catégorie 2 : 'gestion des risques, vulnérabilité' visant à éclairer les possibles et à esquisser des modes d'adaptation aux effets du CC en un lieu donné ou pour une activité.
- catégorie 3 : 'impacts du changement climatique' visant à évaluer des conséquences de l'évolution de certains aléas climatiques avec le CC.

ADAPTATIO

- catégorie 4 : 'adaptation au changement climatique' visant à préciser le contour et le contenu du concept d'adaptation.

Chaque projet présente une approche dominante éventuellement associée à des d'approches complémentaires (*Tableau 2*).

Tableau 2: identification des projets analysés et de leurs approches

| Nom des projets | Catégorie 1 | Catégorie 2 | Catégorie 3 | Catégorie 4 |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------|
| ACCLIMAT | | + | +++ | ++ |
| ACHIA | | | +++ | |
| ACOCLI | +++ | | | |
| Adapt'TERR, | +++ | | | ++ |
| AMICA | | | ++ | +++ |
| CCTV | | + | ++ | +++ |
| CCTV2 | | + | ++ | +++ |
| CIRCE | | +++ | ++ | + |
| CLIM2 | ++ | | +++ | + |
| CLIMATE for CULTURE | +++ | | ++ | |
| CLIM-RUN, | +++ | | ++ | |
| DRIAS | +++ | ++ | | |
| ECCLAIRA | ++ | +++ | | |
| EPICEA, | | + | +++ | ++ |
| INVULNERABLE2 | ++ | +++ | + | |
| MUSCADE | | + | +++ | ++ |
| PeriUrbToulouse | +++ | | | |
| RAMONS | +++ | | ++ | + |
| SAFELAND | | ++ | +++ | |
| SECIF | ++ | +++ | + | |
| VEGDUD | +++ | | | |
| VULIGAM | | +++ | | ++ |
| VURCA | | +++ | ++ | + |
| VuReCcUrbain | | + | ++ | +++ |
| LEGENDE | +++ 1 ^{er} objectif | ++ 2 ^{ème} objectif | + 3 ^{ème} objectif | |

Plusieurs projets adoptent la définition de l'adaptation proposée par le GIEC², mais certains ne s'appuient sur aucune définition formalisée, reliant implicitement cette notion à celle de développement durable. S'agissant d'un ajustement des systèmes concernés à des évolutions des conditions dans lesquelles ils évoluent, l'adaptation peut être vue comme une incessante recherche d'équilibre entre notamment des facteurs « déstabilisants » (notamment l'augmentation de la concentration de GES) et des mesures correctives des effets non-désirés qu'ils induisent.

² Ajustement des systèmes naturels ou des systèmes humains face à un nouvel environnement ou un environnement changeant. L'adaptation aux *changements climatiques* indique l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des *stimuli* climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques. On distingue divers types d'adaptation, notamment l'adaptation anticipée et réactive, l'adaptation publique et privée, et l'adaptation autonome et planifiée (GIEC, 2007).

Bien que parfois citée (notamment dans les projets dont l'approche dominante relève de la catégorie 4), la relation entre atténuation (des émissions de GES) et adaptation reste peu développée dans ces mêmes projets.

Ces projets partagent en majorité l'urgence de l'action. Cette rapidité est liée à la perspective à court terme (quelques décennies, c'est-à-dire au cours de la vie des ouvrages qui sont actuellement en construction) de l'apparition d'une nouvelle donne climatique qui pourra localement modifier la nature et les caractéristiques (fréquence, intensité, durée) d'aléas d'origine climatique.

S'adapter est idéalement anticiper ces modifications, s'y préparer, en prévenir les effets éventuellement néfastes ou créer les conditions de valorisation d'effets bénéfiques possibles.

Les effets des agents climatiques sur le cadre bâti et ses occupants sont qualitativement connus, documentés à l'aune des événements passés qui renseignent également sur les aspects quantitatifs. Si ce passé constitue une source précieuse d'information, ne serait-ce que pour construire aujourd'hui des ouvrages adaptés au contexte actuel ou proche dans le temps, il n'est pas sûr qu'il suffise à anticiper les conséquences d'événements climatiques pour certains inédits localement.

Si nous considérons que le cadre bâti qui nous entoure est adapté au contexte climatique actuel, il faut préciser que c'est en référence plus ou moins explicite à des conditions acceptables et acceptées de confort, de commodités d'usage, de dépense énergétique, et de dépense financière pour ne citer que ces paramètres.

A climat constant, ces conditions viendraient à changer (par exemple par une augmentation substantielle du coût de l'énergie, par une raréfaction de l'eau potable), le cadre bâti actuel resterait-il adapté au contexte climatique actuel ? Le caractère adapté du cadre bâti ne résulte-t-il pas d'un équilibre entre ses performances propres (sa solidité, sa capacité à « retenir » la chaleur générée à l'intérieur en hiver, sa capacité à limiter l'augmentation de la température intérieure en été) et la capacité des occupants à l'utiliser ? Cette dernière notion renvoie bien sûr à des aspects financiers mais également à la capacité d'acceptation des conditions d'usage qui seraient modifiées par le nouveau contexte (accès à l'eau par exemple).

Toutes choses égales par ailleurs, un occupant impécunieux n'aura pas la même appréciation du caractère adapté d'un bâtiment (son logement par exemple) qu'un autre occupant ayant les moyens de payer sa facture énergétique. Ceci peut renvoyer à des considérations hors du champ d'ADAPTATIO sur les différences de niveau de vie dans différentes parties du monde et les nuances à apporter à l'approche de l'adaptation suivant là où l'on se trouve. Nuances qui peuvent renvoyer à la notion de vulnérabilité dont le GIEC, dans le 5^{ème} rapport du WG II, précise qu'elle exprime la « *propension ou prédisposition à subir des dommages. La vulnérabilité englobe divers concepts ou éléments, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter.* » (GIEC, 2014).

A la lumière de ces analyses, le projet ADAPTATIO s'est déroulé en gardant les éléments suivants liés à une « bonne adaptation » :

- disposer d'une connaissance la plus précise possible du futur climatique, c'est-à-dire d'indications sur la probabilité d'occurrence d'événements d'origine climatique déjà connus

ADAPTATIO

localement ou au contraire atypiques en référence au passé. Cette connaissance restera entachée d'incertitude mais le fait de savoir qu'il est très peu probable ou au contraire très probable que (par exemple) des tempêtes se produisent localement est une indication précieuse sur la manière d'anticiper les effets de l'aléa correspondant. Elle permet de dimensionner des ouvrages peu vulnérables à ces aléas futurs ou de prendre des dispositions à la conception permettant à moindre frais des renforcements progressifs à venir.

- expliciter ce qui est « acceptable » et de ce qui l'est moins en matière de confort, de conditions de vie. Une exploration dans cette voie rencontrerait rapidement les questions de comportement des individus et sur notre capacité individuelle et collective à remettre en question les conditions que nous considérons comme « normales » aujourd'hui,
- préciser le contexte économique, même si l'exercice est difficile car reposant sur des estimations très incertaines (contexte économique futur par exemple, coût des ressources).

Ainsi, adapter le cadre bâti à une nouvelle donne climatique ne se réduit pas à modifier le dimensionnement des ouvrages pour que l'occupant bénéficie du même service qu'aujourd'hui. Penser l'adaptation nécessite de considérer le système complexe « cadre bâti / environnement / climat / occupant / économie » dans son ensemble.

1.3 Présentation de l'étude de cas : le secteur d'aménagement Tolbiac Chevaleret

Le secteur Tolbiac Chevaleret, sélectionné pour être le terrain d'étude du projet ADAPTATIO, se situe sur la ZAC Paris Rive Gauche dans le 13^{ème} arrondissement et occupe 12ha environ (figure 1). Aujourd'hui, le secteur est couvert par les voies ferrées et l'ancienne halle des messageries. L'objectif étant d'assurer la continuité entre anciens et nouveaux quartiers, l'aménagement du secteur passe dans un premier temps par la couverture des voies ferrées.



Figure 1 : Plan d'aménagement du quartier Tolbiac-Chevaleret. © Semapa

La maîtrise d'ouvrage est assurée par la Ville de Paris. Les projets urbains et architecturaux du secteur ainsi que la maîtrise d'ouvrage des espaces publics, sont assurés par la SEMAPA. L'architecte coordonnateur est Pierre Gangnet qui a élaboré le projet d'aménagement en coopération avec OGI bureau d'étude et le Bureau de Paysage Empreinte. Les études environnementales ont été réalisées par IOSIS Conseil. L'objectif étant de développer un secteur mixte, il est prévu de créer des espaces publics et de construire successivement des îlots d'hébergement et d'activités tertiaires. Le franchissement des voies ferrées constitue un réel enjeu pour l'aménagement.

Pour comprendre et analyser ce projet et le contexte dans lequel il s'inscrit, nous nous sommes appuyés sur plusieurs documents : le Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) de la Ville de Paris, le Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la Ville de Paris, le Plan de Prévention du Risque d'Inondation (PPRI), le Plan Climat 2007 de la Ville de Paris, le Plan de Déplacements Urbains de la Région Ile-de-France, le Plan de prévention des déchets, le Cahier des recommandations environnementales pour les acteurs de la construction et de l'aménagement de la Ville de Paris, le Guide de l'aménagement durable de la Ville de Paris, le Système de Management Environnemental (SME) de la SEMAPA datant de 2000, les Cahiers des charges de la SEMAPA, la Charte Environnementale de Paris Rive Gauche, et le Cahier des Prescriptions Environnementales³ datant de 2009.

La SEMAPA souhaite valider sa démarche de qualité environnementale mise en œuvre pour les projets de construction avec une certification de Haute Qualité Environnementale et atteindre ainsi des niveaux minimums de performance. La certification HQE est notamment prévue pour les bâtiments tertiaires (Référentiel HQE® « Bureau/ Enseignement», décembre 2008).

L'analyse effectuée nous a permis de constater que les différents choix effectués n'ont pas été pensés dans une perspective d'ACC. Si le projet prend en compte la préoccupation de l'adaptation au climat présent⁴ par l'application des réglementations en vigueur, une attention particulière est donnée aux interactions du projet d'aménagement urbain avec ses composants (bâtiments, espaces verts,...) et son environnement, et à l'impact environnemental du Secteur.

Dans le Plan Climat de la Ville de Paris et dans le rapport sur l'analyse du site effectué par la SEMAPA, une place importante est donnée à la végétation. En effet, la préservation et le développement du patrimoine naturel est un enjeu permanent étant donné que Paris est doté d'une faune sauvage et d'une flore diversifiée. Dans le cadre de l'opération, la possibilité d'implanter des espèces endogènes est considérée. L'adaptabilité de ces espèces au climat est étudiée et plus particulièrement au régime de pluies afin de limiter les besoins en arrosage. De plus, dans le cadre de l'opération on peut observer qu'il n'y a pas de référence directe faite à la maîtrise des consommations hydriques

³ Le Cahier des Prescriptions Environnementales vise à traduire les attentes de la SEMAPA en objectifs programmatiques techniques, fonctionnels et architecturaux en suivant en parallèle les ambitions de la Ville de Paris. En prenant en considération les caractéristiques du site, les contraintes réglementaires et les objectifs environnementaux de l'aménageur, les enjeux environnementaux majeurs identifiés pour le Secteur sont liées à la maîtrise des consommations énergétiques des bâtiments (niveau minimum de performance, utilisation des énergies renouvelables), la réalisation de chantier à faible impact environnemental (propreté, suivi des déchets), la qualité des espaces publics (circulations douces, diversité de paysage...).

⁴ Ce constat d'un prisme sur l'adaptation au climat présent, nous le retrouvons au sein des outils d'évaluation ou démarches d'accompagnement analysés en 1.1).

notamment sous conditions climatiques changeantes, néanmoins, on peut voir que le contrôle des prélèvements en eaux reste une priorité.

Au sujet de l'atténuation et donc des secteurs émettant le plus de gaz à effet de serre, les déplacements sont analysés et diverses options sont envisagées afin d'encourager l'utilisation des modes doux tout en assurant l'accessibilité et la bonne desserte du Secteur. Le secteur qui occupe une partie importante dans la présentation de Tolbiac Chevaleret, est celui de l'énergie. En effet, la gestion de l'énergie occupe une place primordiale dans l'analyse de la soutenabilité durable du secteur Tolbiac Chevaleret. Plus particulièrement, parmi les objectifs énergétiques on trouve le contrôle des besoins et consommations, l'utilisation des énergies renouvelables, l'optimisation de la performance des équipements et réseaux et la minimisation des émissions de gaz à effet de serre. L'approche bioclimatique est également citée. Dans ce cadre, un double regard bâtiment-système est encouragé, avec une utilisation optimale des potentialités du secteur et de son environnement afin d'assurer le meilleur confort possible pour les utilisateurs. L'objectif est ainsi d'utiliser au mieux les ressources énergétiques dans l'intention de valoriser les apports solaires en hiver et d'éviter les surchauffes en été. Les seules références faites à la dimension temporelle sont en lien avec l'objectif de maintenir la performance du secteur et d'anticiper les coûts liés à la maintenance. On peut ainsi observer qu'à aucun moment le maintien de la performance et les coûts associés sont mis en question en raison d'un possible changement climatique. Enfin, cette attention particulière à la performance énergétique et à l'approvisionnement, peut également être identifiée dans les certifications HQE et H&E visées respectivement pour les bâtiments tertiaires et les logements. D'ailleurs dans les certifications HQE et H&E, l'adaptabilité et l'évolutivité sont mentionnées, cependant, l'adaptation à des changements climatiques futurs n'est pas un thème traité par ces certifications.

Pour compléter cette analyse centrée sur le secteur Tolbiac et afin de comprendre si l'adaptation au changement climatique est prise en compte ou non dans la conception et le fonctionnement des projets d'aménagement, et ce directement ou indirectement, nous nous sommes également entretenus avec plusieurs Chefs de Projets des aménagements urbains parisiens. Globalement, les conclusions sont similaires à celles sur le secteur Tolbiac : l'adaptation en soit n'est pas traitée mais le bio-climatisme, la lutte contre les îlots de chaleur urbain, etc., c'est-à-dire les sujets énergétiques et climatiques sont aujourd'hui présents.

2. Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité énergétique, hydrique et économique de l'étude de cas

Les collectivités territoriales ont tout intérêt à se préoccuper dès maintenant de l'évolution du climat et de l'adaptation qui sera nécessaire. De nombreux investissements faits aujourd'hui ont des durées de vie supérieures à 30 voire 50 ans et le taux de renouvellement du bâti en France reste très faible (inférieur à 1%).

Comme nous avons pu le constater *a minima* au sein du secteur Tolbiac-Chevaleret (cf. 1.3), les aménagements ne sont pas évalués en fonction d'un futur climat qui influera obligatoirement sur les besoins énergétiques de chauffage et de climatisation ainsi que sur les besoins en eau. Or le CC pourrait rendre vulnérable un aménagement pourtant conçu pour être aujourd'hui performant.

Pour analyser cette vulnérabilité, et donner des informations tangibles aux acteurs de l'aménagement lors de la conception d'un projet, nous avons proposé plusieurs simulations et analyses appliquées dans le cas présent à Tolbiac Chevaleret. Le modèle Clim'Elioth développé par Egis Concept pour l'échelle du bâtiment a été modifié afin de répondre aux besoins du projet ADAPTATIO (**partie 2.1**). Le modèle ENVI-met a permis d'approcher la question des modifications microclimatiques liées à la forme urbaine et aux matériaux et de voir leurs évolutions selon différents scénarios de CC (**partie 2.2**). Les impacts économiques liés aux besoins énergétiques et en eau ont également été évalués (**partie 2.3**). Le croisement de ces analyses a ensuite été effectué dans la construction d'une toolbox permettant de mettre en évidence par de simples manipulations les effets du CC comme de choix d'ACC (**partie 2.4**).

2.1 Evaluation des besoins énergétiques des bâtiments : le modèle Clim'Elioth

L'objectif dans le cadre du projet ADAPTATIO était de :

- Développer une méthode et un nouvel outil simple d'évaluation des besoins énergétiques,
- Selon différents scénarios climatiques,
- A l'échelle d'un projet d'aménagement urbain,
- A disposition des acteurs de l'aménagement.

Nos choix de cadrage des études de simulation énergétique se sont ainsi portés sur le périmètre suivant :

- Besoins thermiques : chaud et froid
- Climat intérieur
- Logements et bureaux
- Neuf
- Selon deux scénarios de climat futur⁵ : 1 modéré et 1 pessimiste

⁵ Afin de tester l'impact du changement climatique sur le quartier, la modélisation a recours à des fichiers météorologiques dit typiques pour un lieu donné (ici Paris) : ils contiennent une année de données au pas

Clim'elioth est un logiciel propriétaire Elioth qui réalise des simulations numériques de type thermique dynamique monozone. A l'origine, ce logiciel a été créé et développé par les équipes d'Elioth il y a 5 ans pour analyser en phase amont les performances énergétiques de tout type de volume homogène dont le climat est contrôlé.

Le calcul s'effectue sur la base :

- D'un fichier météorologique représentatif (du climat actuel ou du climat futur)
- Des paramètres techniques et d'usage du bâtiment

Les résultats du calcul permettent une approche des besoins chauds et froids et en confort thermique en prenant en compte les échanges énergétiques liés aux :

- Apports solaires
- Apports internes
- Déperditions par les parois opaques et vitrées
- Déperditions par renouvellement d'air
- Echanges inertiels

En effectuant le bilan de ces échanges de manière horaire, nous pouvons déterminer à chaque pas de calcul la température de la zone ainsi que la quantité d'énergie à fournir pour atteindre la température de consigne voulue. En d'autres termes, nous obtenons ainsi la température de dérive de la zone et les consommations de chauffage et de climatisation.

Le principal avantage de Clim'elioth est sa réactivité (un temps de calcul très court) qui permet au concepteur d'adopter une approche itérative pour tester et comparer différents scénarios de conception architecturales et techniques, les objectifs visés pouvant porter sur les économies d'énergie ou le confort intérieur du bâti. Le second avantage est de fournir simultanément au calcul (pas de post traitement des données) tous les graphiques et grandeurs caractéristiques à l'analyse de la performance du projet. A ce titre, Clim'elioth constitue un véritable tableau de bord énergétique.

Le domaine d'application du logiciel Clim'elioth concerne la définition de principes généraux (techniques et architecturaux) propres aux phases amont de conception et ne permet pas de répondre aux exigences de précision des calculs réglementaires ou émanant de labels environnementaux. Lors des phases de développement/définition, d'autres outils plus précis, mais aussi beaucoup plus longs à manipuler prennent le relais de Clim'elioth pour caler les détails de

horaire, représentatives des grandeurs effectivement observées, pour la température de l'air et les données d'irradiation solaire. La reconstruction de ces jeux de données est effectuée par Meteonorm, par application de méthodes statistiques sur des données réelles issues du Global Energy Balance Archive (GEBA), du World Meteorological Organization (WMO/OMM) et des bases données compilées par MeteoSwiss.

Meteonorm peut également être utilisé pour l'étude des changements climatiques. Au lieu de valeurs climatiques observées, les résultats du GIEC AR4 sont utilisés comme données d'entrée dans le moteur de calcul. Trois scénarios - NOTA : Les dernier scénarios du GIEC « RCPxx » n'étaient pas encore disponibles au pas horaire par l'éditeur Meteonorm au moment où nous avons réalisé les études - B1 différent (faible), A1B (intermédiaire) et A2 (pessimiste) sont disponibles et fournissent une année type de 2010 à 2100 par pas de 10 ans.

Nous disposons ainsi de 3 scénarios climatiques pour tester l'impact du changement climatique : une année typique des années 2000 ; une année typique des années 2050 ; une année typique des années 2100.

ADAPTATIO

conception et simuler très précisément, local par local, les consommations et la qualité du confort thermique du bâtiment (logiciels de simulation thermique dynamique tels que TAS, IES, ArchiWizard ou Pleïade par exemple).

Dans Clim'elioth, le bâtiment ou la pièce à étudier est modélisé par une zone thermique à l'intérieur de laquelle la température de l'air est considérée homogène : il s'agit d'une simulation thermique dynamique monozone. Cette zone a une géométrie et une composition d'enveloppe qu'il s'agira de renseigner. Son utilisation et les conditions extérieures vont alors permettre à cette zone de gagner ou de céder de l'énergie, échangée avec l'environnement. Ces variations seront alors comptabilisées heure par heure sur l'ensemble de l'année.

Pour répondre aux enjeux du projet Adaptatio, nous avons dû développer spécifiquement de nouvelles fonctionnalités de Clim'elioth. En effet, le passage à l'échelle urbaine et la nécessaire prise en compte de la morphologie du quartier, la volonté de tester les effets de stratégies de bioclimatisme urbain (végétalisation, choix de matériaux aux teintes claires, etc.), de recours à des procédés alternatifs de rafraîchissement (ventilation naturelle dans les logements, , couverture des besoins chaud et froid par des puits canadien, etc.) nécessitaient d'étendre les possibilités offertes pour le logiciel.

La possibilité de faire varier les paramètres de conception a également été développée dans Clim'Elioth. En effet, il est utile d'identifier quels sont les leviers d'action les plus efficaces parmi les solutions constructives pour faire face à l'évolution des besoins énergétiques due au changement climatique. En mettant en relation le coût d'installation d'une solution et son efficacité énergétique, il devient alors possible d'effectuer un arbitrage pertinent, écartant les solutions à l'effet marginal sur le besoin pour préférer des dispositifs peu coûteux et permettant le plus d'économies d'énergie.

Cette fonctionnalité permet également d'alerter sur les paramètres les plus importants lors de la construction. En effet, chaque caractéristique de l'enveloppe aura un impact différent et plus ou moins grand sur le comportement énergétique du bâtiment, et une telle étude de sensibilité pourrait identifier les paramètres qui ont l'influence la plus forte.

2.2 Modifications microclimatiques et analyse des besoins hydriques : les apports du modèle ENVI-Met

ENVI-met (Environmental Meteorology) a été développé au sein du Groupe de Recherche en climatologie (GRC) au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne par Michael Bruse. Ce modèle simule les interactions entre différentes surfaces urbaines, la végétation et l'atmosphère. Il permet ainsi d'analyser l'impact sur le microclimat de modifications de l'environnement urbain à petite échelle (arbres, cours intérieures végétalisées, etc.).

ENVI-met s'appuie sur la résolution numérique des équations de la mécanique des fluides et sur le bilan d'énergie. En d'autres termes, il calcule l'écoulement du vent autour des différentes structures urbaines ainsi que les autres variables associées au bilan d'énergie et aux processus de transfert atmosphérique (calcul des ombres, de la réflexion, de la turbulence, de l'évaporation des plantes, etc.). En plus de ces éléments, le modèle simule également la dispersion des particules ou encore le

ADAPTATIO

confort thermique en extérieur. Il est ainsi composé d'un modèle atmosphérique (équations de Navier-Stokes en condition non-hydrostatiques et incompressibles, approximation de Boussinesq, modèle de clôture de turbulence d'ordre 1.5), d'un modèle de sol (température, humidité, eau), d'un modèle de surface (bâtiments) et d'un modèle de végétation (figure 2). Le modèle sol permet le calcul du transfert de la chaleur surfacique à l'intérieur du sol et vice-versa. La partie hydrologique permet le calcul de l'eau disponible dans le sol.

L'interface utilisée pour entrer les paramètres de simulation (pas de temps, implantation du bâti, hauteur des bâtiments, type de végétation, sources de pollution, etc.) est plutôt simple d'utilisation et permet de visualiser en deux dimensions la zone urbaine à modéliser (figure 3). La simulation, qui peut être effectuée sur un ordinateur de bureau, peut prendre entre quelques heures et quelques jours selon la modélisation effectuée.

ENVI-met jouit d'une notoriété croissante. En 2010, le logiciel comptait plus de 1700 utilisateurs issus des quatre coins du monde. Le logiciel est, en effet, largement utilisé avec succès dans l'analyse de la qualité de l'air et du microclimat urbain dans de nombreux pays avec des profils climatiques différents comme Trèves (Allemagne), Lisbonne (Portugal), Le Caire (Égypte), Sao Paulo (Brésil), Singapour ou encore Colombo (Sri Lanka).

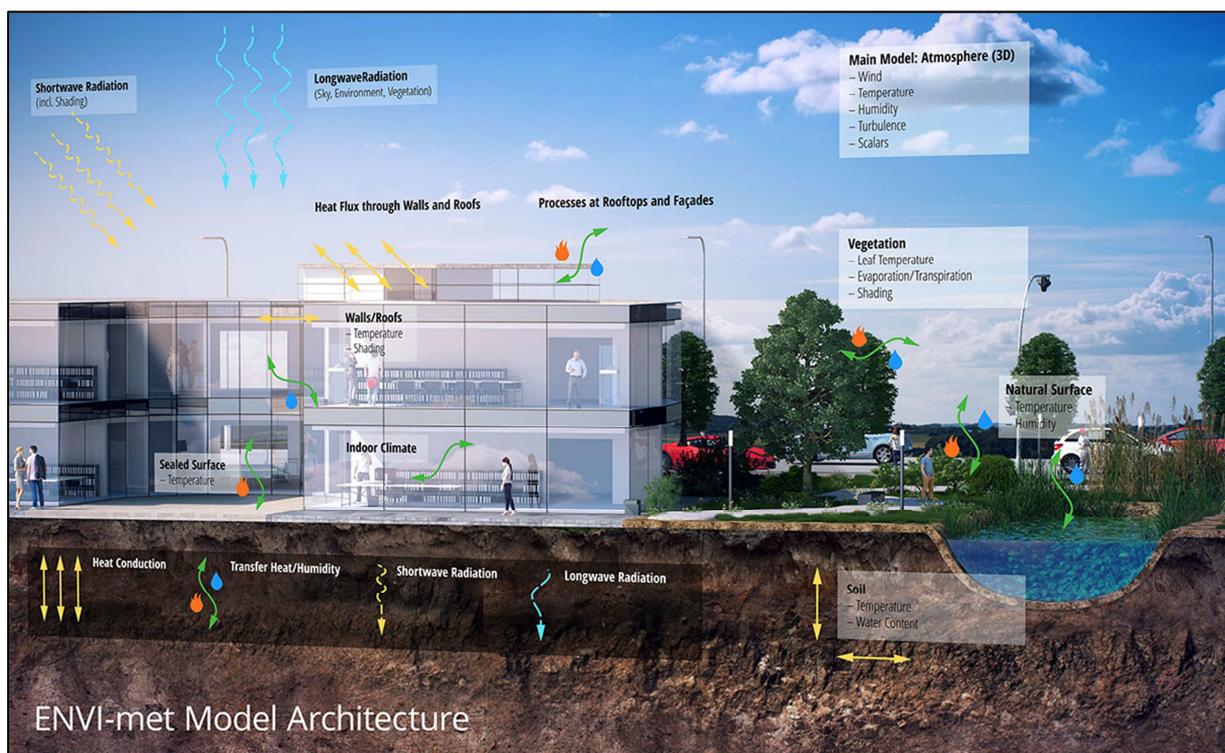


Figure 2 : Architecture du modèle d'ENVI-MET (<http://www.envi-met.com/>)

La principale différence entre ENVI-MET et les grands modèles atmosphériques utilisés pour la prédiction de la météo actuelle et future, est la résolution temporelle et spatiale du modèle. Avec une résolution spatiale entre 0,5 m et 10 m et un pas de temps de 10s, ENVI-MET simule à une échelle microscopique, les interactions entre l'atmosphère, les sols, la végétation et les bâtiments. Chaque structure urbaine et chaque élément végétal peuvent être explicitement simulés avec ENVI-

met, ce qui fait du logiciel un outil adapté au travail des urbanistes, des architectes et des climatologues urbains qui veulent simuler les composants météorologiques de l'environnement urbain. ENVI-met calcule la dynamique du microclimat durant un cycle journalier (24 ou 48 heures) en utilisant les lois fondamentales de la dynamique des fluides et la thermodynamique précédemment citées. Le logiciel simule également les conditions autour et entre les bâtiments (interactions entre les surfaces extérieures d'un espace urbain ouvert) et les interactions entre les surfaces, l'air et la végétation. Le processus d'échange de la chaleur et de la vapeur au niveau du sol et des surfaces verticales, les turbulences, les échanges aux niveaux de la végétation, la bioclimatologie et la dispersion des parcelles, sont également simulés. Ces simulations sont effectuées à travers une grille d'analyse tridimensionnelle avec des coordonnées variables sur les axes x, y et z.

Envi-Met prend en compte l'ensemble des facteurs qui influencent le confort thermique comme, la vitesse du vent, la direction et la température moyenne radiante (TMRT) et ceux-ci sont intégralement simulés afin de calculer les indices du confort thermique. ENVI-met détient également la capacité d'analyser des situations extrêmes comme le cas d'un climat aride qui se caractérise par une large durée d'ensoleillement la journée et de faibles précipitations.

Bruse (1999) résume ainsi les avantages attribués à ENVI-met:

- ENVI-met simule la dynamique du microclimat au sein d'un cycle journalier. Le modèle est en stationnaire et non - hydrostatique et simule tous les processus de changement, notamment l'écoulement du vent, les turbulences, les flux de rayonnement, la température et l'humidité.
- Une représentation détaillée des structures urbaines complexes est possible, c'est à dire qu'avec Envi-met il est possible de représenter les bâtiments avec différentes formes et hauteurs. Avec ENVI-met il est également possible de représenter des détails de conception tels que des galeries et des formes géométriques irrégulières.
- La végétation est traitée comme un obstacle poreux au vent et au rayonnement solaire. De plus, les processus physiologiques de l'évapotranspiration et de la photosynthèse sont considérés et différents types de végétation avec des propriétés spécifiques peuvent être utilisés. Le sol est également considéré comme un volume composé de plusieurs couches et peut être de différents types.
- La résolution spatiale élevée (jusqu'à 0,5 m horizontalement) et la résolution temporelle (jusqu'à 10 s), permettent une lecture fine des changements microclimatiques, surtout sensibles à la géométrie urbaine, ce qui constitue un élément pertinent pour les questions de confort.
- Le modèle nécessite un nombre limité de données d'entrée et fournit un grand nombre de données de sortie. La variable clé pour le confort en plein air qui est la température moyenne radiante (TMRT), est également calculée.

ENVI-met permet d'évaluer : l'ensoleillement (le rayonnement global ; fraction photosynthétique du rayonnement), la température des surfaces et de l'air, l'humidité de l'air (différence de pression de vapeur entre l'environnement et l'intérieur de la plante), la force du vent ou encore la disponibilité en eau du sol. Tous ces paramètres vont permettre d'évaluer l'évapotranspiration – la méthode Turc

(Turc, 1961) a été sélectionnée – puis, par voie de conséquence, le déficit en eau puis les besoins en eau des espaces verts.

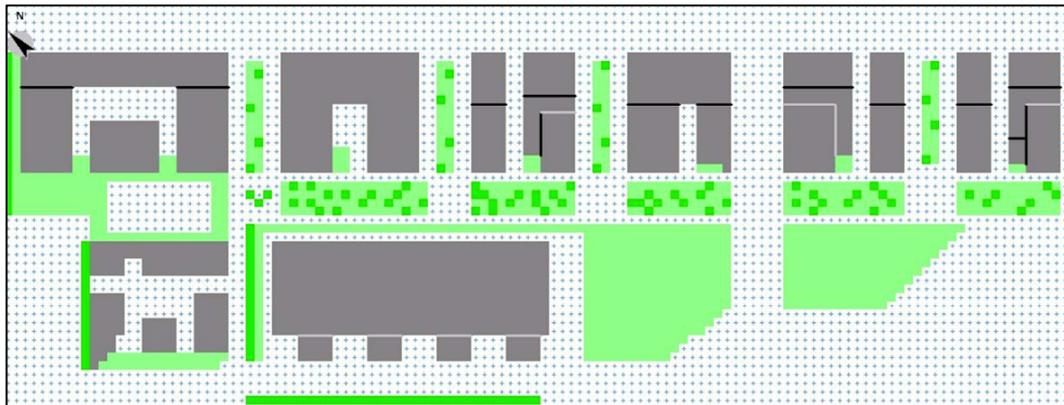


Figure 3 : Modélisation de la ZAC Tolbiac Chevaleret (Cas de base) sur ENVI-met 3.1

2.3 Les apports de l'analyse économique à l'échelle de Tolbiac Chevaleret

Trois types d'approches économiques ont été menés pour le projet ADAPTATIO :

- Une synthèse des principales méthodes d'analyses économiques et le choix d'une méthode, en l'occurrence l'analyse coût-efficacité, pour analyser les résultats d'ADAPTATIO
- La détermination de trois scénarios de prix de l'énergie et de l'eau non potable, pour estimer les coûts liés aux factures énergétique et hydrique des solutions étudiées dans le cadre du projet
- Une synthèse des principaux mécanismes permettant le financement de l'adaptation, sous la forme d'une typologie des financements.

Après avoir proposé une synthèse des principales méthodes d'analyses économiques utilisables dans le cadre de l'adaptation aux impacts du changement climatique et répertoriées dans la littérature, nous avons justifié le choix d'utiliser une méthode d'analyse coût-efficacité qui consiste en la recherche de la minimisation des coûts pour atteindre un objectif défini par avance (ici le respect de la température de consigne, de 19°C en hiver et 26°C en été). Deux arguments principaux ont été retenus pour ce choix : le manque de données pour réaliser une analyse coût-bénéfices ou une analyse multicritères; la simplification apportée par le choix de retenir les températures de consignes telles qu'elles existent actuellement comme objectif à viser, faute de considération sur d'autres objectifs possibles, liés par exemple à l'évolution de la réglementation.

Par ailleurs, nous avons retenu certaines hypothèses simplificatrices parmi lesquelles : absence d'effet rebond, absence d'effets redistributifs, non considération de taux d'actualisation, absence de coûts externes et de coûts indirects, non prise en compte de solutions comportementales ou institutionnelles. De plus, nous avons cherché uniquement à évaluer les coûts directs liés à la mise en place et l'utilisation de différentes solutions d'adaptation étudiées en créant une typologie des coûts pour distinguer les différentes échelles de temps : coûts d'investissement, coûts de maintenance, coûts liés aux factures énergétiques et hydrique, coûts liés au renouvellement de l'installation, en ne

considérant que les coûts supplémentaires liés à la mise en œuvre de la solution d'adaptation, donc toutes choses étant égales par ailleurs (par exemple, nous ne considérons que les coûts liés à la consommation réelle de l'eau et de l'énergie et pas le coût lié à l'abonnement par exemple, supposé forfaitaire et constant ; nous considérons donc que le différentiel de coûts annuels entre deux situations).

Tableau 3 : Trois scénarios d'augmentation du prix des énergies d'ici 2050

| (€'12/100kWh) | | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--------------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|
| Fioul | Prix Hauts | 8,3 | 12,4 | 14,4 | 15,5 | 21,2 |
| | Référence | 8,3 | 8,9 | 10,8 | 12,0 | 12,7 |
| | Prix Bas | 8,3 | 7,9 | 8,8 | 8,6 | 8,3 |
| Gaz | Prix Hauts | 6,4 | 8,8 | 10,3 | 11,9 | 16,6 |
| | Référence | 6,4 | 7,3 | 8,6 | 9,5 | 10,2 |
| | Prix Bas | 6,4 | 5,8 | 6,3 | 6,2 | 6,5 |
| Electricité | Politiques actuelles | 12,6 | | 16,0 | | 16,1 |
| | Forte efficacité énergétique | 12,6 | | 15,9 | | 15,2 |
| | Fortes énergies renouvelables | 12,6 | | 16,7 | | 19,7 |

Tableau 4 : Trois scénarios d'augmentation du prix de l'eau non potable d'ici 2050

| Prix en 2050 | En € 2014 constants par mètre cube | | |
|--------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Scénario | Scénario 1 (+0%/an) | Scénario 2(+2,5% /an) | Scénario 3 (+5%/an) |
| TOTAL | 0,591 | 1,586 | 4,159 |

Pour le prix des énergies, et au vu de la difficulté évidente d'établir des prévisions de prix de l'énergie à si longue échéance et des travaux de référence déjà existants sur des scénarios de prix du combustible, nous avons cherché à appréhender ces possibilités d'évolution du prix, en donnant un ordre de grandeur des prix au consommateur final pour le fioul domestique, le gaz naturel et l'électricité dans trois scénarios de prix (prix hauts, médians, bas). Deux méthodologies similaires, à partir d'hypothèses différentes, sont utilisées pour obtenir les prix du gaz et du fioul à 2050 : une régression linéaire est établie « toutes choses égales par ailleurs » (notamment sur les parts du prix liées aux taxes et coût de transport) entre l'historique des prix SOeS pour le fioul domestique et le gaz naturel et les prix correspondant proposés par la Commission pour la période 1990-2010, puis une extrapolation est réalisée en utilisant les prévisions de prix à l'importation issus des scénarios étudiés dans l'*Energy Roadmap 2050* de la Commission Européenne . Pour l'électricité, pour laquelle nous supposons aussi une convergence des prix de l'électricité au consommateur français avec les prix européens, une régression sur les données historiques puis une extrapolation est réalisée à partir de trois scénarios étudiés par la Commission Européenne, afin d'obtenir une large fourchette : celui de maintien des politiques actuelles, celui avec une haute efficacité énergétique et celui avec une forte part des énergies renouvelables. Deux focus spécifiques sur des énergéticiens parisiens (CPCU et Climespace) sont également proposés.

Les scénarios de prospective pour le prix de l'eau non potable ont été réalisés grâce à des entretiens avec Eau de Paris pour retenir des hypothèses les plus plausibles possibles (compte tenu de l'incertitude à ces échelles de temps) quant à l'augmentation annuelle du prix de l'eau, après analyse des composantes du prix : fourniture, préservation des ressources en eau, taxes et contribution à VNF.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux 3 et 4.

2.4 Croisement des analyses : la toolbox Adaptatio

Clim'elioth est un logiciel de thermique dynamique du bâtiment et n'a pas vocation à intégrer dans ses capacités de calcul la modélisation du climat urbain, c'est-à-dire entre autres les variations spatiales de température de l'air en fonction de l'orientation des rues, de leur profondeur et largeur, de leur degré de végétalisation...

ENVI-Met est spécifiquement développé pour effectuer ce type de simulations, ce qui rend le couplage du fonctionnement des deux logiciels pertinent : au lieu d'utiliser une température de l'air homogène quelle que soit l'orientation et la hauteur de nos volumes élémentaires, ENVI-Met rend possible la prise en compte des différences de températures existant entre une façade au Sud ou au Nord, entre un étage bas et un étage haut ou encore l'impact de la végétalisation ou du choix de teinte claire dans les revêtements d'enveloppe.

ENVI-Met ne peut pas simuler une année entière du climat urbain du fait de la complexité des calculs de mécanique des fluides dynamiques, mais peut étudier quelques situations critiques, notamment en été. La connexion créée entre les deux logiciels a donc consisté à altérer le fichier météorologique typique de météonorm pour les températures chaudes (au-delà de 26°C) à l'aide de régression linéaires modélisant l'impact de la morphologie et des solutions bioclimatiques.

D'une température de l'air à 10 mètres standard et fournie au pas horaire par Meteonorm, nous passons ainsi avec cette prise en compte de la morphologie à des températures de l'air différenciées par orientation et par étage : un volume en face Nord au dernier étage ne sera ainsi pas soumis à la même sollicitation extérieure qu'un volume en rez-de-chaussée en face Sud, par exemple. La végétalisation et les matériaux des surfaces ont également un impact sur ces températures et permet à la simulation de quantifier l'effet de ces solutions de traitement de l'extérieur des bâtiments. La réalité du climat urbain est donc mieux approchée.

Afin de faciliter la lecture des résultats et la communication autour des impacts du CC, une toolbox a été proposée. La toolbox est un outil d'aide à la programmation urbaine qui permet d'anticiper les impacts de scénarios climatiques sur les consommations d'énergie d'un projet urbain.

Sur la base des données climatiques du site (actuelles et prévues) et des "méta-données" du projet urbain (emprises au sol du bâti et surface par programme), il fournit "en quelques clics" des indicateurs de performance pour différents choix de partis de conception urbaine prédéfinis.

Les solutions à tester abordent des thèmes structurants pour les espaces extérieurs (morphologie, albédo urbain, densité végétale et hydrique) et les espaces bâti (performance thermique des enveloppes, choix des systèmes et des sources d'énergies).

ADAPTATIO

The screenshot displays the 'ADAPTATIO TOOLBOX' interface. At the top, a grey header contains the title 'ADAPTATIO TOOLBOX'. Below it, three main content panels are visible: a green panel on the left titled 'Fonctionnement', a blue panel in the center titled 'Qu'est-ce que la toolbox', and a yellow panel on the right titled 'Le consortium'. The 'Fonctionnement' panel contains detailed text about the tool's operation. The 'Qu'est-ce que la toolbox' panel explains its purpose and lists participating organizations. The 'Le consortium' panel lists partners like EVP, CDC Climat, CSTB, ELIOTH, and MAIRIE DE PARIS. A red arrow points from the 'pour démarrer' button in the blue panel to the 'ToolBox_Besoins' tab in the bottom navigation bar. The navigation bar at the bottom includes tabs for 'Demarrage', 'A propos', 'Les Cas', 'ToolBox_Sensibilite', 'ToolBox_Besoins', and 'ToolBox_Couts'. A browser address bar is visible above the navigation bar.

Figure 4 : Présentation des différents onglets de la toolbox

La toolbox se compose de différents onglets comme présenté en figure 4. Les trois premiers présentent brièvement l'outil, son champ d'application et son principe d'utilisation. Les trois suivants permettent de tester des solutions et de les comparer entre elles.

L'onglet "sensibilité" est indépendant des deux suivants. C'est une entrée en matière didactique qui permet de tester en temps réel (à l'aide d'un curseur) l'impact de variations de paramètre constructif typique de l'enveloppe sur la demande énergétique du bâti.

Les deux onglets suivants sont à remplir successivement. Sous hypothèses de performance thermique d'enveloppe du bâti optimisée, ils permettent de visualiser l'impact de plusieurs axes de solutions urbaines sur la performance énergétique et économique du quartier à horizon 50 ans.

L'onglet "Besoins" permet de sélectionner le type de scénario climatique envisagé en 2050, A1b (optimiste) ou A2 (probable) et le type de solution projet envisagée. Il donne instantanément les courbes de besoins énergétiques typiques des solutions sélectionnées. Avant même le calcul des consommations énergétiques ou du coût global de la solution envisagée, la forme de ces courbes donne une indication caractéristique sur le niveau de performance de la solution envisagée. Les solutions présentées dans cet onglet concernent aussi bien les choix de stratégies de rafraîchissement passif/actif des bâtiments que les choix de principes de morphologies urbaines.

L'onglet "coûts" (comprendre coût énergétique et coût économique) permet de visualiser l'impact en coût global et en kWhep de la solution envisagée. A partir de la courbe des besoins sélectionnée, il permet de choisir un système de production et une source d'énergie afin de calculer le coût énergétique et économique de la solution (cf. partie 3.3). Les résultats sont affichés en valeur annuelle sous climat actuel ou à horizon 2050 (selon scénario A1B ou A2). L'onglet « coût » permet également de tester simultanément deux solutions : par exemple une solution de référence et une solution test que l'on cherche à optimiser. Les coûts énergétiques et économiques sont calculés dans la toolbox à partir des résultats du calcul des besoins issus de Climelioth et d'hypothèses d'évolutions des coûts de l'énergie réalisées à horizon 2050. Le principe de la méthode de calcul et de ses hypothèses simplificatrices sont détaillés ci-après :

- Les coûts énergétiques sont calculés à partir des profils de besoins en chaud et en froid enregistrés dans la toolbox (profils visualisables dans l'onglet « besoins » de la toolbox) affectés de coefficients de performance : un premier coefficient de performance « système » de production de chaud et de froid selon le système sélectionnée par l'utilisateur, puis un second coefficient « source » selon le type d'énergie mise en jeu. Pour nos tests, plusieurs hypothèses simplificatives ont été adoptées :
 - o Pour chaque système envisagé, le coefficient de performance énergétique permettant de passer de l'énergie utile (E_u) à l'énergie finale (E_f), (énergie facturée au compteur) est défini comme constant, selon retour d'expérience (REX EGIS Bâtiment) et de manière simplifiée comme la valeur nominale usuellement rencontrée sur les opérations de grande ampleur mise en œuvre actuellement.
 - o La valeur de consommation en énergie primaire (E_p) est alors affichée dans la toolbox en affectant un second coefficient égale à 2,58 pour l'énergie électrique

ADAPTATIO

(selon valeur actuellement appliquée pour le mix énergétique français) et égale à 1 pour les autres sources. Ces valeurs sont prises identiques par défaut pour les projections à 2050, faute de vision claire sur l'évolution des mix énergétiques français à de telles échéances.

- Pour le calcul des consommations, les auxiliaires⁶ de production de chaud et de froid ont été volontairement exclus car difficilement quantifiable par une approche systématique au ratio.
 - Pour les solutions de production d'appoint en chaud et en froid (nécessitant un mix de plusieurs système complémentaires) nous avons choisi un taux de couverture par défaut de 30% comme valeur optimale couramment observée pour des opérations de grande ampleur.
- Les coûts économiques sont calculés dans la toolbox en coût global annuel comme la somme des postes suivant :
- Coût de consommation énergétique annuelle en exploitation : Il est calculé automatiquement par multiplication des résultats du calcul de consommation en Ef de chaque système sélectionné, par le coût de l'énergie correspondante, selon les scénarios d'augmentation du coût de l'énergie présentés en partie 2.3.
 - Coût annuel d'entretien maintenance : il est défini pour chaque système comme une valeur annuelle fixe selon le retour d'expérience en exploitation d'opérations types de constructions neuves de 10 000m² (sources EGIS Conseil exploitation).
 - Coût de fourniture, installation et renouvellement des systèmes de productions : Il est calculé à l'aide de ratios pour chaque système selon le retour d'expérience en conception d'opération type de constructions neuves sur une base de 10 000m² (sources EGIS Bâtiment). Y est intégré le taux de renouvellement des systèmes de production et de distribution sur la base des technologies et des pratiques actuelles en exploitation (sources EGIS Conseil exploitation).

⁶ Consommation des pompes de circulation, vannes et ventilateurs des systèmes de production de chaud ou de froid.

3. Prise en compte de l'ACC dans le cadre de Tolbiac Chevaleret

Le projet ADAPTATIO a permis de s'interroger sur la prise en compte de l'ACC dans le projet Tolbiac-Chevaleret (*partie 1*), d'identifier ses vulnérabilités via l'utilisation de plusieurs modèles (*partie 2*) mais également de s'interroger sur les informations utiles à apporter aux acteurs d'un projet tel que celui-là pour mieux appréhender l'ACC. C'est l'objet de cette troisième et dernière partie.

La méthodologie développée dans le cadre d'ADAPTATIO s'est en effet appuyée sur l'évaluation des besoins énergétiques et en eau d'un projet d'aménagement selon différents scénarios climatiques mais également sur l'évaluation des impacts potentiels de solutions permettant d'adapter les bâtiments (*partie 3.1*) ou l'ensemble de l'aménagement (*partie 2.2*) sur ces mêmes besoins comme sur les coûts (*partie 3.3*). Parallèlement, le projet a permis de proposer quelques pistes afin de modifier l'organisation de la réflexion autour des enjeux énergétiques lors d'un projet en faisant notamment intervenir plusieurs acteurs opérationnels lors d'ateliers et en interrogeant les apports potentiels du « Design Thinking » (*partie 3.4*).

3.1 Mesures d'ACC considérées à l'échelle du bâtiment

Dans le cadre du projet ADAPTATIO, trois types de solutions ont été analysés à partir du cas de référence « très performant » de la ZAC :

- Des tests de sensibilité sur les paramètres de performance du bâti
- Des tests de scénarios de besoins selon différents principes bioclimatiques : solutions « Bâti » ou « espace urbain » (*partie 3.2*)
- Des choix de systèmes de production (chaud/froid) avec le calcul des consommations et coûts associés (cf. *partie 3.3*)

La première série de tests a ainsi concerné les hypothèses de performances du bâti, l'objectif étant de tester l'impact de la variation des principaux paramètres de performance de l'enveloppe sur la demande énergétique des bâtiments (impact sur les besoins énergétiques). Nous avons fait l'hypothèse que, pour ces tests, la stratégie de confort thermique supposée était une utilisation complémentaire de climatisation et de ventilation naturelle.

Les scénarios testés ont été effectués de manière à alimenter une étude de sensibilité, autour du cas de référence « très performant » auquel on applique une variation +/-25 et +/-50% . Les typologies logement et bureaux ont été testés séparément.

L'échantillon suivant de six paramètres de performances a été choisi pour cette étude. La sélection s'est faite sur la base de leur potentiel d'influence (présupposé) sur la performance thermique du bâti.

1. Coefficients de transmission thermique murs : U_{opaque} (W/m².K)

Il s'agit du coefficient de transmission thermique des parois opaques de la zone simulée. Ce paramètre conditionne le flux de puissance thermique entre l'extérieur et l'intérieur à travers les parois opaques, par unité de surface (en m²) et par degré d'écart entre les deux températures (en K). Ainsi plus ces coefficients sont élevés, et plus la zone aura de déperditions. Lorsque la température

extérieure est inférieure à la température intérieure (en hiver ou la nuit par exemple), plus de puissance sera nécessaire pour maintenir les 19/20°C de consigne de chauffage et la zone se refroidira plus vite. Inversement, lorsque la température extérieure est supérieure à la température intérieure (en été par exemple), plus de puissance sera nécessaire pour maintenir les 26°C de consigne de climatisation et la zone se réchauffera plus vite.

2. Coefficients de transmission thermique des baies : U baies (W/m².K)

Il s'agit du coefficient de transmission thermique des baies de la zone simulée. Ce paramètre conditionne le flux de puissance thermique entre l'extérieur et l'intérieur à travers les baies, par unité de surface (en m²) et par degré d'écart entre les deux températures (en K). Il prend en compte les coefficients de transmission thermique des vitrages et des menuiseries.

3. Fraction vitrée : %Sv (%)

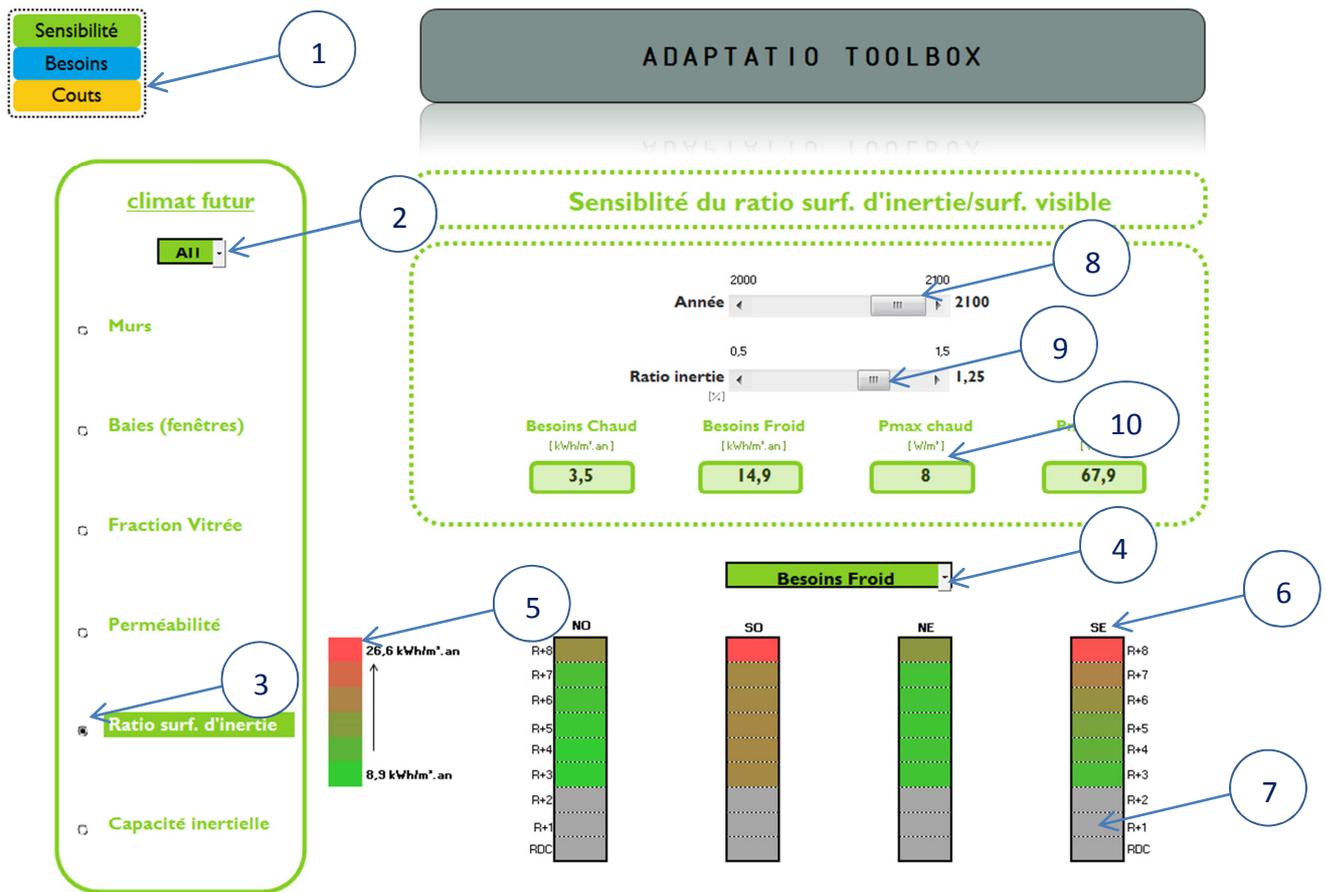
Il s'agit du pourcentage de baies de la zone simulée (surface de baies / surface de façade). Ce paramètre fixe les proportions de façade qui seront affectées d'un coefficient de transmission thermique « U opaque » ou « U baie ». Il fixe également la quantité de flux solaire qui sera transmise à la zone par les vitrages, et aux parois opaques (en façade ou éventuellement en toiture). Ce coefficient fixe un arbitrage important pour le traitement des apports solaires (du point de vue thermique et sans prise en compte ici des exigences d'éclairément). Une fraction vitrée importante donnera une zone qui aura beaucoup de déperditions et beaucoup d'apports solaires dans le même temps. En hiver, il s'agit de capter un maximum d'apports solaires pour diminuer le besoin de chauffage, alors qu'en été, l'objectif sera plutôt de limiter la montée en température lors de fortes chaleurs, d'où le rôle des protections solaires qui permettent de contrôler ces apports suivant le moment de l'année.

4. Perméabilité: Qsurf (Vol/h)

Il s'agit du pourcentage du volume total de la zone échangé avec l'extérieur du fait des défauts de perméabilité de l'enveloppe. Ce paramètre génère un apport d'air non contrôlé dans la zone, c'est-à-dire entrant à la température extérieure. Plus ce paramètre est élevé, plus le besoin en chauffage et en climatisation, ainsi que les températures intérieures, seront sensibles à la température extérieure du fait de cet apport d'air. En hiver, plus de puissance sera nécessaire pour maintenir les 19/20°C de consigne de chauffage et la zone se refroidira plus vite. En été, plus de puissance sera nécessaire pour maintenir les 26°C de consigne de climatisation et la zone se réchauffera plus vite.

5. Inertie : capacité thermique inertielle/surface utile (KJ/K.m²) et surface inertielle/surface utile (%)

Ces deux paramètres décrivent la capacité de la zone à stocker ou restituer de l'énergie lors d'un écart de température entre l'air intérieur et les surfaces inertielles, et lors de la production de chaud ou de froid de la part des systèmes. Ils conditionnent le rythme d'évolution des températures et donc le rythme et l'amplitude des besoins en chaud et froid : une zone à forte inertie verra sa température hors occupation chuter moins vite, se réchauffera moins vite en été lors de fortes chaleurs, mais il faudra également plus de temps pour le réchauffer en début d'occupation par exemple.



- 1 : Liens génériques « à cliquer » pour accéder à l'un des 3 éditeurs de résultats
- 2 : Choix scénario du scénario « climat futur souhaité » (A1B ou A2).
- 3 : Choix du scénario de « paramètre de sensibilité à tester ». Lors du choix d'un paramètre, les autres sont fixés automatiquement sur leur valeur médiane.
- 4 : Choix du scénario de « type de besoins à tester » (Besoins chauds ou Besoins froids).
- 5 : Indication de l'échelle des besoins (! l'échelle s'ajuste automatiquement à chaque modification de scénario)
- 6 : Visualisation des résultats en fonction de l'étage et de l'orientation des espaces intérieurs.
- 7 : Les niveaux grisés indiquent (pour information) les étages de programmes d'activité et commerces (non étudiés dans notre projet).
- 8 : Curseurs de test comparatif de l'année climatique (2000, 2050 ou 2100) pour une valeur de paramètre de performance fixée.
- 9 : Curseurs de test comparatif de la valeur du paramètre de performance choisi en fonction de l'année climatique fixée (2000, 2050 ou 2100). Comme vu précédemment, le curseur décrit 5 graduations dont une valeur au centre performante, un extrême à + 50% et un autre à -50%.
- 10 : Résultats des indicateurs affichés en moyenne pour l'ensemble du programme bâti.

Figure 5 : Notice de la toolbox

Les tableaux 5 et 6 synthétisent respectivement l'ensemble des scénarios testés pour les logements et les bureaux.

Les résultats de cette étude de sensibilité sont disponibles au travers de la toolbox (figure 5). Cette dernière permet de visualiser instantanément l'impact de toute variation des paramètres simulés (tableaux ci-dessus) sur les indicateurs de sortie suivant : Besoins Chaud, besoins Froid, Pmax Chaud et Pmax Froid. Chacun de ces indicateurs est donné en valeur totale moyenne annuelle, en

kWh/m².an pour les besoins et en W/m² pour les puissances max, mais également par une échelle de couleur précisant une moyenne pour chaque orientation et chaque niveau.

Tableau 5 : Scénarios testés pour les logements

| | -50% | -25% | Référence (très performant) | +25% | +50% |
|---|-------|------|--------------------------------|------|-------|
| Uopaque (W/m ² .K) | 0,075 | | 0,15 | | 0,025 |
| Ubaie (W/m ² .K) | 0,75 | | 1,2 | | 1,65 |
| Fraction vitrée (%) | 12,5 | | 35 | | 52,5 |
| Pérméabilité (Vol/h) | 0,125 | | 0,2 | | 0,275 |
| Capacité inertielle (KJ/K.m ²) | 150 | | 300 | | 450 |
| S_{eq} inertielle (%) | 50 | | 100 | | 150 |

Tableau 6 : Scénarios testés pour les bureaux

| | -50% | -25% | Référence (très performant) | +25% | +50% |
|---|-------|------|--------------------------------|------|-------|
| Uopaque (W/m ² .K) | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,3 |
| Ubaie (W/m ² .K) | 0,625 | | 1 | | 1,375 |
| Fraction vitrée (%) | 25 | | 50% | | 75 |
| Pérméabilité (Vol/h) | 0,125 | | 0,2 | | 0,275 |
| Capacité inertielle (KJ/K.m ²) | 75 | | 150 | | 225 |
| S_{eq} inertielle (%) | 38 | | 50 | | 63 |

L'impact de ces indicateurs sur la base du climat actuel peut alors être visualisé et comparé aux horizons futurs (2050 et 2100) selon les deux scénarios climatiques retenus (A1B et A2).

La notice en figure 5 explique comment utiliser l'onglet résultat «toolBox_Sensibilité» de la toolbox. Tous les résultats s'affichent en temps réel sur la page de test au fur et à mesure que l'utilisateur sélectionne ses scénarios.

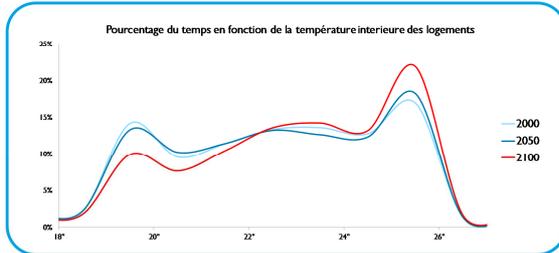
3.2 Mesures d'ACC considérées à l'échelle du projet d'aménagement (EIVP, 2p.)

En ce qui concerne l'échelle du projet d'aménagement quatre scénarios ont été modélisés :

- un scénario de verdissement où les surfaces végétalisées sont augmentées et arrosées d'une manière optimale (scénario S2),
- un scénario réfléchissant où les propriétés physiques des toits sont modifiées sans toucher aux murs (scénario S3),
- un scénario réfléchissant où les propriétés physiques des surfaces des parois opaques des murs et des toits sont modifiées (scénario S3 bis),
- et enfin, un scénario de surélévation des bâtiments de la ZAC de Tolbiac Chevaleret (scénario S4).

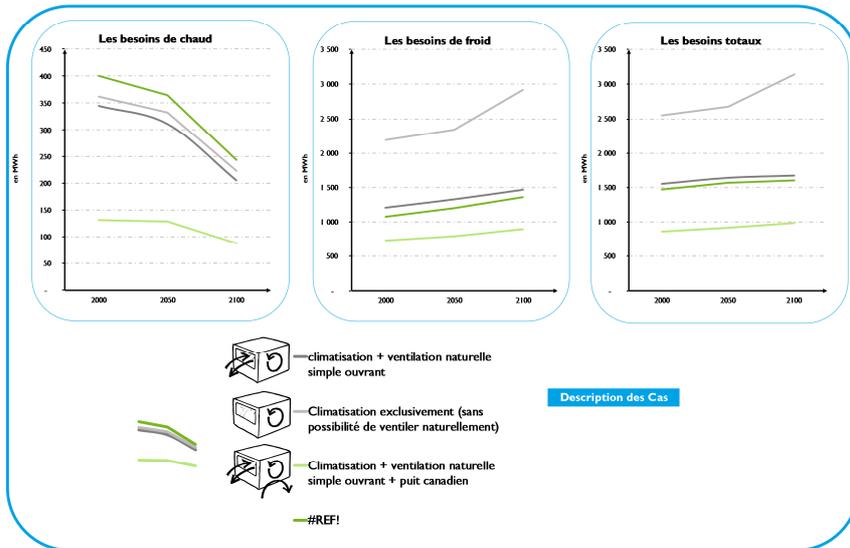
- Climat
- Besoins
- Morphologie
- A2

Climat



Besoins du quartier

Description des Cas

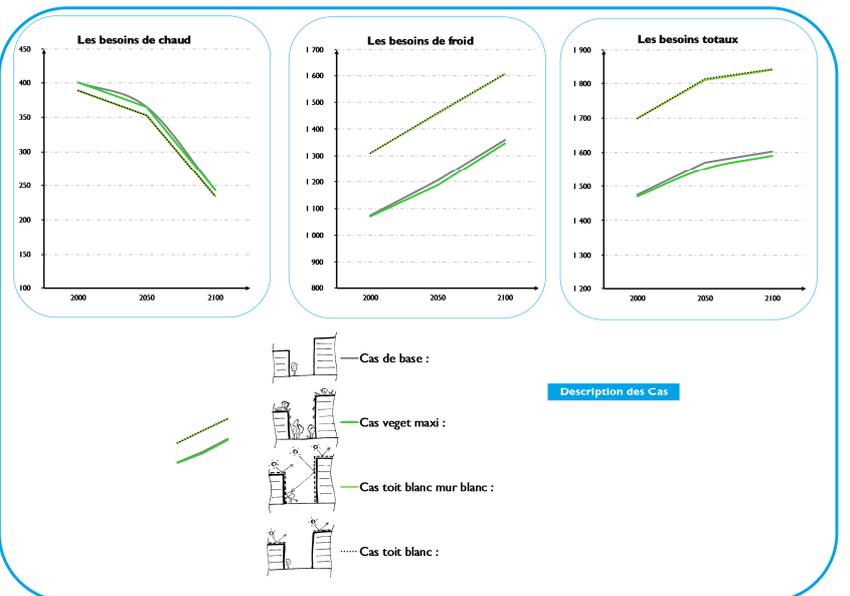


Description des Cas

- Climat
- Besoins

Morphologie Urbaine

Description des Cas



Description des Cas

Figure 6 : section 'besoins' de la toolbox

ADAPTATIO

Tous les scénarios sont testés afin d'évaluer leur impacts en termes d'énergie. Seul le scénario S2 « végétation maximisée » est testé afin d'évaluer les impacts en termes de besoins hydriques à l'échelle du secteur Tolbiac Chevaleret. Les résultats de ces tests sur les besoins énergétiques ont également été intégrés au sein de la toolbox (figure 6).

3.3 Evaluation des coûts et comparaison des scénarios adaptés et non adaptés

Dans le cas du projet ADAPTATIO, nous considérons le différentiel des coûts entre la situation adaptée et la solution non-adaptée, donc sans tenir compte des coûts résiduels. Nous considérons ainsi les coûts supplémentaires de consommation d'eau ou d'énergie, d'installation et de maintenance d'une situation non-adaptée par rapport au niveau de ces mêmes coûts en situation d'adaptation : ainsi ne sont considérés par exemple que les coûts liés à la consommation réelle de l'eau et de l'énergie et pas le coût lié à l'abonnement par exemple, supposé forfaitaire et constant.

Pour chaque solution étudiée est analysé : le coût d'installation, le coût de maintenance, les coûts liés aux consommations d'eau et d'énergie, ainsi que le nombre de renouvellement nécessaire de l'installation. Notre analyse permet pour chaque couple de solution étudiée d'avoir les informations explicitées au sein de la figure 7.

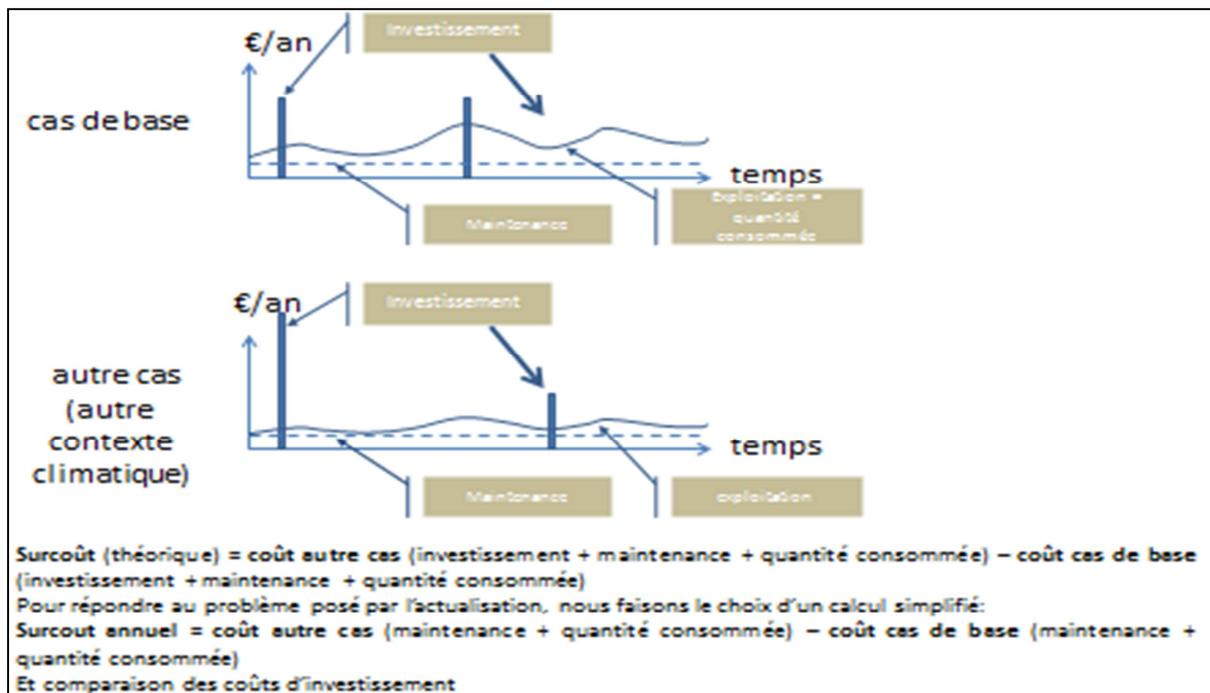


Figure 7 : Principe de raisonnement pour l'analyse du surcoût

La toolbox permet de comparer deux à deux des situations faisant des choix à la fois sur (figure 8) :

- La climatisation et la ventilation naturelle
- Les systèmes de production (chaud/froid)

Les résultats sont également intégrés à la Tollbox (figure 9).

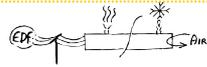
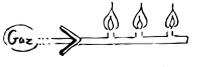
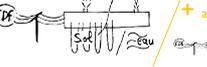
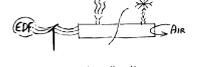
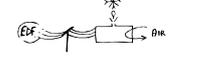
| Choix des systèmes Chaud | | Source d'énergie |
|---|---|--|
|  | Groupe Froid sur air (PAC réversible) | Elec |
|  | Gaz (Chaudière) | Gaz |
|  | CPCU | CPCU |
|  | Groupe Froid sur eau (pieux) + PAC sur air (réversible) | Elec |
|  | Préchauffage puits canadien + Groupe Froid (PAC réversible) | Elec |
|  | Préchauffage puits canadien + Chaudière gaz | Gaz + elec (ventilateurs puits) |
|  | Préchauffage puits canadien + CPCU | CPCU + elec (ventilateurs puits) |
|  | Géothermie profonde par puits (+ doublage sécurité groupe Froid -PAC réversible) | Géo (gratuit) + Elec pompe |
|  | Géothermie profonde par puits (+ doublage sécurité Chaudière gaz) | Géo (gratuit) + Elec pompe |
|  | Géothermie profonde par puits (+ doublage sécurité CPCU) | Géo (gratuit) + Elec pompe |
| Choix des systèmes Froid | | |
|  | Groupe froid sur air | Elec |
|  | Climespace | Climespace |
|  | Split système individuel | Elec |
|  | Groupe Froid sur eau (pieux) + PAC sur air | Elec |
|  | Groupe Froid sur eau (pieux) + Climespace | Elec + climespace |
|  | Puit canadien + PAC sur air | Elec |
|  | Puit canadien + Climespace | Elec (ventilateurs puits) + climespace |
|  | Pas de système de froid - Ventilation naturelle (simple ouvrant) | S.O. |

Figure 8 : choix des systèmes énergétiques au sein de la Tollbox

ADAPTATIO

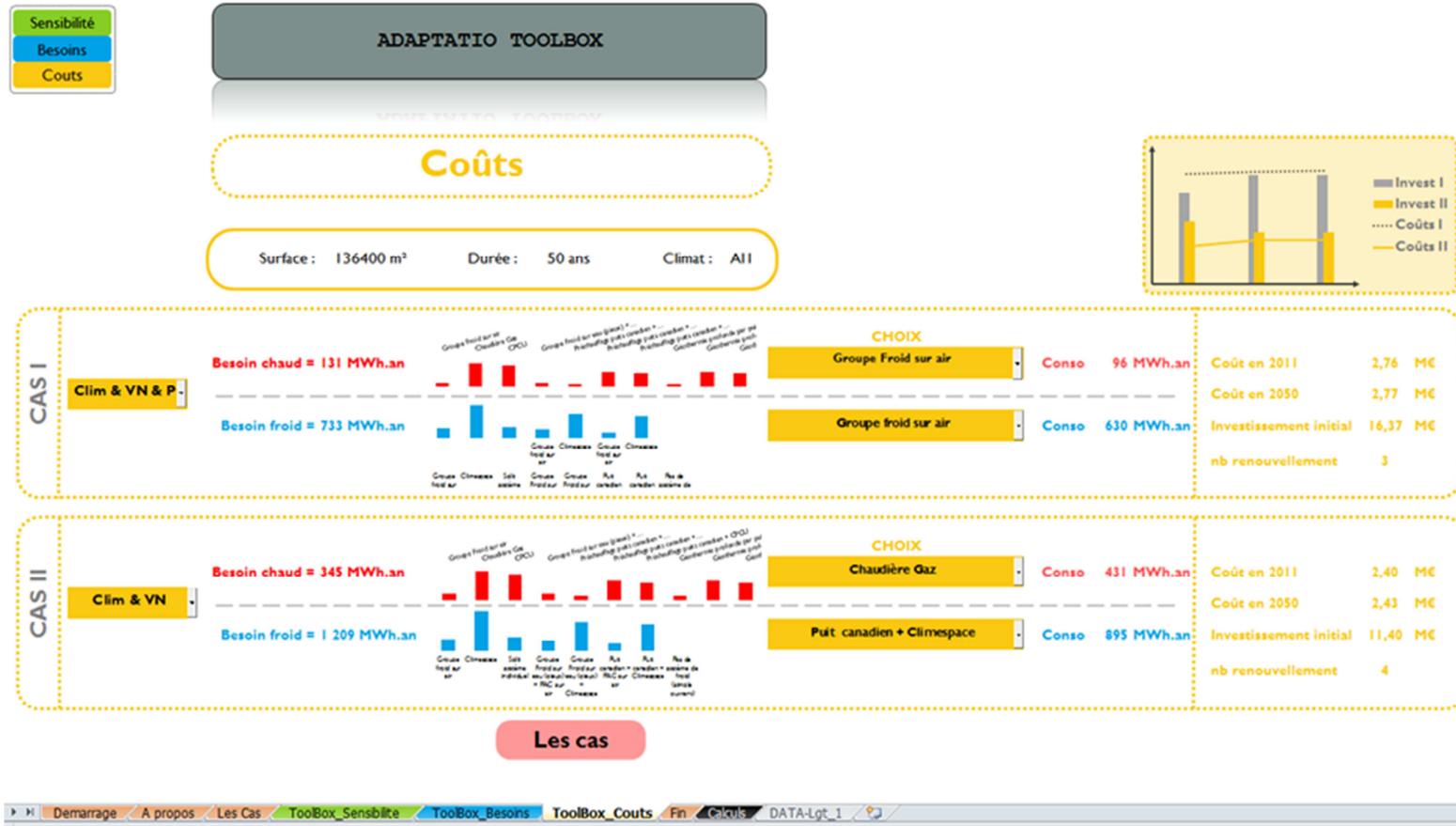


Figure 9 : Onglet coût de la toolbox

Aucune solution ne permet a priori d'obtenir durant toute la durée de vie du projet une minimisation de tous les coûts. Il est ainsi nécessaire de faire des arbitrages entre la temporalité/le montant des coûts à supporter (abstraction faite de l'entité qui supporte ces coûts, et des autres considérations comme l'acceptabilité sociale ou politique).

3.4 Réflexion sur l'accompagnement auprès des acteurs d'un aménagement pour intégrer l'adaptation au changement climatique : les ateliers de réflexion conjointe opérationnels – chercheurs et les apports de la pensée « design thinking »

Afin de tester nos résultats et leur capacité à faire comprendre les enjeux de L'ACC mais également de réfléchir à de nouvelles méthodologies de réflexion issue notamment de la pensée design thinking, deux ateliers ont été organisés avec différents acteurs du projet d'aménagement urbain sélectionné, Tolbiac Chevaleret⁷.

Le design thinking est un courant de pensée apparu il y a une trentaine d'années et qui fait aujourd'hui partie du lexique populaire de la pratique contemporaine du design et de l'ingénierie offrant un ensemble d'outils et de méthodes pouvant orienter vers de nouvelles solutions. Cette théorie a été normalisée par Tim Brown, PDG d'IDEO, entreprise de design apportant de l'aide aux organisations des secteurs privés et publics dans une optique d'innovation et de croissance (www.ideo.com/about).

Le design thinking est un processus participatif reposant sur la créativité collective, l'empathie des intervenants, et sur un raisonnement abductif qui encourage à sortir des sentiers battus. Le droit à l'erreur est reconnu et vu comme un facteur de succès afin d'arriver à l'innovation qui se trouve à la croisée des besoins des utilisateurs, des possibilités offertes par la technologie et de sa viabilité au sein du marché. Ainsi, le Design Thinking repose sur quatre fondements : l'empathie et la valeur sociale du processus, le fait que le processus ne doit rien s'interdire dans sa quête de créativité, la nécessité d'itérer, et la valeur participative du processus avec une pluridisciplinarité d'acteurs.

L'aménagement urbain est, comme nous allons le voir, très perméable à de nouveaux concepts tels que le design thinking. Mais avant d'aborder les retours liés aux ateliers, il est intéressant de revenir sur l'urbanisme et ses relations potentiels avec le design thinking.

L'urbanisme est, selon (Merlin et Choay, 2010), alternativement défini comme science, art et/ou technique de l'organisation spatiale des établissements humains. Désormais, un statut scientifique et de discipline autonome est donné à la création et l'aménagement des villes. A une échelle plus fine,

⁷ Les ateliers ont permis de réunir, en dehors des membres du consortium (9 personnes), 8 personnes et 7 personnes respectivement au 1er et 2nd atelier, représentant les organismes suivant : laboratoire d'agronomie de la Division des Etudes Végétales de la Ville de Paris, Chef de projet de Tolbiac Chevaleret de la Direction de l'Urbanisme de la Ville de Paris, Service Technique de l'Habitat de la Ville de Paris, Division Stratégie de Développement Durable de la Ville de Paris, Référent Développement Durable de la Direction de l'Urbanisme de la Ville de Paris, Chef de projet Tolbiac Chevaleret de l'Agence Pierre Gangnet Architecte, Chef de projet de Tolbiac Chevaleret de la Direction de la Programmation et de l'Urbanisme de la SEMAPA, Chef de Projet SME de la Direction de la Programmation et de l'Urbanisme de la SEMAPA, Responsable Prospective de Egis Conseil Bâtiments, et Architecte Programmiste d'Egis Conseil Bâtiments. Nous les en remercions.

dans le cadre notamment de la pratique urbanistique française, le projet urbain se trouve au carrefour de trois axes, l'architecture avec sa tradition du savoir-faire, le secteur public avec sa tradition décisionnelle et l'industrie avec sa tradition de pratique du projet, axes au départ vus comme irréconciliables (Robert Prost, in Seitz et Terrin, 2003). On trouve ainsi par analogie les trois sphères du *design thinking*, la désirabilité sociale, la faisabilité technique, et la viabilité économique, et le caractère multidisciplinaire. Cette analogie se traduit dans la pratique et les compétences des acteurs de l'urbain par l'adoption et le développement d'expertises relatives à la médiation et à la coordination selon Prost, initiant ainsi un travail collaboratif avec les autres acteurs partenaires de l'urbain («urbanisme de médiation»). Ces évolutions mettent en avant le développement d'un « terreau » propice à la mise en application de processus de création collaborative, avec un double discours expertise-médiation, une implication de l'ensemble des acteurs du projet urbain et le développement d'une certaine empathie auprès des clients hypothétiques du projet urbain (Verpraet, 2005), avec l'urbaniste qui, un peu comme un médiateur/ designer, mobiliserait une double compétence technique et sociale.

Comme souligné par Robert Prost, le projet urbain lors de sa genèse doit composer « avec la réduction de l'incertitude », constante du processus de projet urbain. Il convient alors de trouver les modalités opératoires permettant de travailler « sérieusement » dans un contexte d'incertitude, de générer des propositions, de conforter ou d'infirmier les premières hypothèses, et de commencer à consolider et articuler celles que l'on retient comme pertinentes (Seitz, 2003). Pour cela, on a recours aux ressources spécifiques du projet architectural comme les consultations d'architectes/urbanistes. Ces consultations donnent les premières représentations visuelles (Design thinking : valeur accordée au dessin), elles constituent « des plates-formes » de débats entre les parties prenantes (Design Thinking : empathie, travail collaboratif). Elles permettent aussi d'effectuer un grand nombre d'anticipations et d'itérations (Design Thinking : réflexion itérative, apprentissage) et elles dévoilent des questions non encore posées (Design Thinking : dimension sociale, questionnement continu). Cette évolution vers des processus de création collaborative nécessite la mise en place de certaines conditions comme, le soutien par le corps décisionnaire sans lequel il est difficile de faire rentrer l'innovation dans les pratiques professionnelles, la prise en compte des temporalités inhérentes au projet urbain qui peuvent faire évoluer le contexte du projet. Parmi les conditions nous trouvons aussi la nécessité d'éviter de rassembler un trop grand nombre d'experts sur de très grandes réunions afin de ne pas alourdir les démarches d'itération, et la nécessité de prendre en compte les jeux de pouvoirs, de négociations, de coalitions, de transactions derrière le projet urbain afin de qualifier les acteurs, leur convergences et divergences et éviter ainsi d'instaurer des hypothèses difficiles à remettre en cause par la suite. Ces conditions constituent les bases de toute démarche de *design thinking* dans le monde de l'urbanisme afin de ne pas s'enfermer dans le cadre de départ du projet et se préparer à toute éventualité de révision.

A l'issue des ateliers nous pouvons reconnaître que le *design thinking* a de grandes chances de trouver sa voie en urbanisme avec plusieurs possibilités d'application. En effet, tant sur l'organisation des ateliers que sur l'organisation des exercices et supports mobilisés, le consortium ADAPTATIO a utilisé spontanément des ressources recommandées dans ce domaine particulier de compétences, sans avoir l'intention de faire du *design thinking* pour faire du *design thinking*. Comme révélé par l'expérience du premier atelier, le *design thinking* a tout naturellement fait écho avec les nouvelles

compétences de médiation exigées par la pratique urbanistique, ses outils trouvant tout naturellement leur place dans les échanges et ne semblant pas heurter leurs pratiques des experts.

Le *design thinking* et l'urbanisme sont loin d'être « deux étrangers » l'un pour l'autre dans le cadre de réunions/ateliers participatifs. En effet, l'urbanisme mobilise fréquemment et de manière quasi-systématique des outils et pratiques de *design thinking* tels que le brainstorming, le recours aux post-its pour dégager les idées essentielles d'un propos, ou encore l'imprégnation d'une forte dimension visuelle des résultats (modèles, graphiques...). Néanmoins, et bien que les faits traduisent une telle pratique du *design thinking*, la pratique du design thinking demeure inconsciente auprès des urbanistes et des architectes qui se sont vus contraints de développer des compétences de médiation et de coordination depuis une vingtaine d'années.

Tout d'abord, afin de mobiliser les principes du *design thinking* au long de projets urbains, l'équipe de projet doit concentrer un maximum de compétences auprès d'un minimum d'acteurs (Patniak, 2009 ; Brown, 2010). Il faut prendre garde à ne pas mobiliser un nombre d'experts plus conséquent que la taille du projet ne le requiert, sous peine de voir d'importantes pertes d'informations notamment en raison de l'inhibition de certains acteurs. Restreindre le nombre de participants permet de se concentrer sur des thématiques particulières et d'aller plus avant dans le développement du projet, quitte à multiplier ces ateliers thématiques. Si la présence des commanditaires est plus que nécessaire pour mener à bien la finalité du processus collaboratif, nous nous devons être plus mesurés sur l'implication des habitants et futurs usagers lors de ces ateliers. En effet, comme l'a souligné D. Boullier (Seitz, 2003), l'habitant est aveuglé par ses intérêts propres et n'aidera pas à la construction du projet, une fois dépassée la phase d'« Immersion » décrite par Vianna *et al.* (2011). Cependant, l'habitant apporte un vécu unique sur le contexte du projet, ses dynamiques, ses forces et ses faiblesses. Ainsi, le riverain devient en effet une partie prenante essentielle du processus de *design thinking* lors de la phase d'immersion du projet. Pour la suite de la démarche, l'équipe de projet peut se baser sur les données collectées lors de la phase d'Immersion pour mobiliser les connaissances et pratiques des riverains sous la forme de «personnages-types» par exemple. L'urbanisme et plus particulièrement le projet urbain sont de plus en plus collaboratifs, mobilisant tout un jeu de ressources visuelles pour asseoir le dialogue entre les différentes parties prenantes. Le *design thinking* de son côté est comme nous avons pu le constater une démarche fortement visuelle, reposant sur de nombreuses techniques (post-its, cartographies, diagrammes...), et mobilisant également des outils de communication, de dessin et de construction de prototypes (Brown, 2010 ; Vianna *et al.*, 2011). Ces techniques et outils accentuent le caractère visuel de la démarche design thinking auprès des acteurs. L'urbanisme dispose déjà de telles ressources visuelles avec la construction de modèles en 3 dimensions par ordinateur, la construction de maquettes, le recours au plan et à la cartographie. Dans une optique de *design thinking*, et même de manière générale, il faut continuer à utiliser et mobiliser des ressources visuelles, même schématiques, pour construire un dialogue entre acteurs. Dans un processus de *design thinking*, ces ressources sont également mobilisées pour construire une histoire (*storytelling*) qui fait sens, qui fait réagir et initie un débat au cours duquel les acteurs vont partager leurs visions du projet et confronter leur préjugés. C'est plus rarement le cas en urbanisme. Néanmoins, il s'agit d'une pratique qu'il faut encourager et itérer à plusieurs reprises, car elle permet d'asseoir un débat réunissant l'ensemble des parties prenantes du projet, et facilite grandement la construction d'un objet commun.

Ainsi le *design thinking* ne vient pas en soi bouleverser la pratique urbanistique sur le plan technique, nombre de ses outils et méthodes étant déjà mobilisés inconsciemment et à la disposition des urbanistes et des acteurs de l'urbain pour des usages futurs. Mais c'est bien sur le plan « philosophique » que le processus du *design thinking* peut se poser en rupture des pratiques actuelles. Le processus du *design thinking* est principalement applicable dans des démarches d'innovations urbaines. Le processus s'avère peu pertinent dans le cadre de modèles de projets déjà longuement éprouvés. En effet, il ne faut pas oublier que le *design thinking* a pour objectif principal de promouvoir la créativité et de développer l'innovation dans une structure entrepreneuriale suivant une logique mercantile. De nouveaux travaux sur cette théorie pourraient ainsi poursuivre un double objectif, à savoir appliquer les principes du *design thinking* à la définition d'un projet urbain, et formaliser l'utilisation de la théorie à la conduite de projets urbains.

Suite à notre analyse bibliographique et à l'expérience des deux ateliers organisés dans le cadre d'Adaptatio, la nécessité de réorienter la recherche vers la définition d'un nouveau métier de l'urbanisme n'apparaît pas encore comme une évidence. En effet, de par les compétences de médiation qu'ils ont ajoutées à leur technicité propre, architectes et urbanistes peuvent enrichir leur démarche en empruntant des outils à la méthode « *design thinking* », tout en conservant l'approche de la coordination telle qu'elle est proposée au travers des métiers de l'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage et du Consulting environnemental. On retrouve ainsi l'idée d'un urbaniste « concepteur-médiateur » (*terme utilisé dans le projet ANR BIMBY*) qui cumulerait ainsi des compétences de leadership et de communication, mais également des compétences techniques.

4. Bilan et perspectives

Le projet ADAPTATIO n'avait pas l'ambition d'appréhender dans leur entièreté les questions systémiques soulevées par la démarche d'adaptation aux effets du changement climatique. Les moyens disponibles ont été consacrés à l'examen de deux sujets : l'incidence d'une nouvelle donne climatique sur les consommations d'eau et d'énergie en particulier dans un climat plus chaud.

Il est de nombreuses manières de « s'adapter » à des périodes de chaleur anormalement longues ; parmi celles-ci, certaines sont une cause de « mal-adaptation », comme la pose spontanée de climatiseurs individuels qui augmente la consommation énergétique et les émissions de GES.

L'exploration de possibles contrastés a été privilégiée de manière à faire apparaître les conséquences, notamment économiques, de ces choix. Des solutions privilégiant des actions sur l'enveloppe des bâtiments, sur les équipements et sur l'environnement immédiat des bâtiments concernés ont été identifiées. Chaque solution représente un investissement, des coûts de fonctionnement et de maintenance, et une durée de vie bien spécifique.

Les consommations d'eau ont été restreintes aux usages publics (arrosage des espaces verts, alimentation de bassins). Les usages domestiques de l'eau à des fins d'adaptation à des températures élevées n'ont pas été pris en compte car leur approche relève de méthodes sociologiques non portées par l'équipe projet.

Dans le cadre ainsi défini, la réflexion menée en commun avec des professionnels de l'aménagement urbain ont conduit à deux constats.

Premièrement, l'adaptation ne figure pas au cahier des charges des projets en cours ou projetés à court terme, dont le déroulé et le suivi au quotidien se révèlent déjà très complexes. L'incertitude autour de l'intensité des futurs changements climatiques ne facilite pas leur prise en considération lors des projets.

Deuxièmement, ce relatif retrait par rapport à l'adaptation, dû à la prégnance des aspects opérationnels de la conduite d'opérations, est cependant accompagné d'un appétit à disposer d'éléments d'appréciation de l'ampleur et de l'urgence d'éventuelles mesures d'adaptation.

Les outils développés dans le cadre du projet ADAPTATIO et notamment la « toolbox » entendent proposer une réponse à ces attentes des professionnels.

Cet outil traite les résultats de logiciels de simulation d'une part à l'échelle du bâtiment (CLIM'ELIOTH : outil d'écoconception développé par Egis Concept et abordant les enjeux énergétiques et de confort du bâti.), d'autre part à l'échelle du quartier (ENVI-MET : outil de simulation du confort urbain prenant notamment en compte les phénomènes d'évapotranspiration de la végétation). Ces logiciels utilisent des données météorologiques à horizon 2050-2100 fournies dans le cadre du projet ADAPTATIO par Météonorm.

La toolbox ADAPTATIO intègre également des données économiques relatives aux coûts de l'énergie et de l'eau aux mêmes horizons temporels que pour le climat.

ADAPTATIO

Cet outil permet de répondre au souhait des professionnels à disposer d'indicateurs synthétiques associés à la qualification du confort intérieur et extérieur à l'échelle d'un quartier. Une approche du coût associé est également accessible.

La portée de la toolbox ADAPTATIO réside dans sa capacité à sensibiliser les acteurs aux enjeux associés à une nouvelle donne climatique. Un soin particulier a été apporté à l'interface que des tests ultérieurs pourront amener à améliorer. Ses limites actuelles sont de nécessiter une nouvelle saisie complète de données (géométrie et description des bâtiments et de leur environnement) pour un nouveau quartier.

L'objectif dans le cadre d'ADAPTATIO a cependant été atteint : rendre possible une exploration par des professionnels de l'incidence d'un climat futur sur les consommations en eau et en énergie d'un groupe d'immeubles effectivement réalisés dans la ZAC Tolbiac. Il s'agit avant tout de créer les conditions d'un échange sans prétendre se substituer aux outils d'étude et de simulation détaillées mobilisés de manière opérationnelle par les acteurs de l'aménagement urbain.

La maturité de la notion d'adaptation et des réflexions sur ses liens étroits avec l'atténuation paraît encore insuffisante au vu de l'analyse des recherches sur ces sujets. Il semble dès lors nécessaire de poursuivre cette maturation et la toolbox ADAPTATIO peut y contribuer.

Le projet a également suscité des échanges riches lors des ateliers et des séances publiques quant aux aspects économiques de l'adaptation. Quelques jalons ont été posés en lien avec les pratiques professionnelles afin de faciliter l'échange entre économistes et praticiens quant aux implications économiques et financières de l'adaptation, tout en gardant en tête que les perspectives à long terme d'évolution des coûts (de l'énergie et de l'eau) sont difficiles à appréhender.

Les travaux menés dans le cadre du projet ADAPTATIO ouvrent des perspectives nombreuses :

- organiser l'échange entre scientifiques et professionnels afin de développer une approche opérationnelle de l'adaptation aux effets du changement climatique ;
- affiner l'approche économique de l'adaptation en explorant des scénarios contrastés d'évolution des facteurs influents ;
- intégrer d'autres indicateurs comme le niveau d'émission de GES associé aux solutions techniques retenues ;
- ouvrir la possibilité d'associer de futurs usagers du quartier au choix de solutions d'adaptation par un renforcement des possibilités de visualisation et un effort pédagogique de présentation des résultats de simulation ;
- créer les conditions à la mobilisation des démarches de « design-thinking » en valorisant les outils comme la toolbox ADAPTATIO en tant que support à l'intervention de designers spécialisés.

5. Bibliographie

AULAGNIER, S. BOURDIC, L. COHEN, M. POUTREL, S. COLOMBERT, M. CÔME, JM. DRIS HAMED, I. GASSER, B. JARRIN, T. LESPINGAL, O. LATERRASSE, J. NOWACKI, C. SAGLIO, A. SALAT, S. ZERGUINI, S. Etat de l'art des indicateurs et des outils de calcul de consommation énergétique et de gaz à effet de serre – de l'échelle du quartier à celle de l'agglomération. Synthèse des travaux et identification de pistes de recherche à approfondir, novembre 2011, 48p.

BROWN Tim, (2010), L'esprit design, le design thinking change l'entreprise et la stratégie, Pearson Education France, Paris, 264 p.

BRUSE, M. (2009). Anwendung von mikroskaligen simulationsmodellen in der stadtplanung in: Bernhard, L. und Kger T. (Hrsg.): Simulation raumbezogener Prozesse: Methoden und Anwendung, IfGIprints, Inst. f. Geoinformatik, Univ. Mnster, Mnster, ISBN 3-927889-84-9, p9-21

Fastcompany/Patniak Dev (25/08/2009), Forget design thinking and try hybrid thinking, <http://www.fastcompany.com/1338960/forget-design-thinking-and-try-hybrid-thinking>, 13/01/2014

FRITSCH E., BELZITI D., AUGISEAU V. Analyse de la prise en compte de l'articulation urbanisme/mobilité/bâti/transport dans des démarches visant à un aménagement durable, novembre 2011, 44 p.

GOLANY, G.S. urban design morphology and design performance. Atmospheric Environment, vol.30, n°3, 1996, p. 455-465.

GRIFFITHS, J.F. Climate and the Environment, The atmospheric impact on man. London: Paul Elek, 1976, 148 p.

IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

MERLIN, P. CHOAY, F. 2010, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Broché– 23 octobre 2010

ONERC Villes et adaptation au changement climatique, Rapport au Premier ministre et au Parlement, novembre 2010

REGHEZZA, M., 2007. Adaptation (Capacité d'adaptation) ; École de géographie de Chicago ; Écologie humaine ; White, G.F. (1911-2006), in Veyret, Y. (Ed.), *Dictionnaire de l'environnement*, Paris, Armand Colin, 3-4.

SEITZ F. TERRIN, JJ. (eds), (2003), *Architecture des systèmes urbains*, Ed. L'Harmattan, Paris

ADAPTATIO

SIMONET, G. Le concept d'adaptation: polysémie interdisciplinaire et implication pour les changements climatiques. *Natures Sciences Sociétés*, 17, 2009, 392-401

VERPRAET Gilles, (2005), *Les professionnels de l'urbanisme. Socio-histoire des systèmes professionnels de l'urbanisme*, Paris : Ed. Economica, 214 p.

VIANNA et al., [Traduction : Murtinho Bruno], *Design thinking : Business innovation*, MJV Press, Rio de Janeiro, 2011, 165 p.

Annexes

A. Valorisations (publications et communications)

L'année 2015, avec l'organisation de la COP21 à Paris, sera l'occasion de valoriser nos travaux de recherche. Nous pouvons néanmoins déjà lister quelques publications et communications effectuées ou acceptées.

Participations aux colloques internationaux

Nassopoulos Hypatia, Mangeot Antoine, Colombert Morgane, Leseur Alexia, Gantois Marie, Salagnac Jean-Luc, Jacquet Laurent, Meunier Guillaume. Design thinking and urban planning projects: Towards new climatic services for climate change adaptation? ICUC9, Toulouse, 20-24 juillet 2015 (accepté) (communication avec article)

Colombert Morgane, Gantois Marie, Jacquet Laurent, Leseur Alexia, Meunier Guillaume, Nassopoulos Hypatia, Salagnac Jean-Luc. Integration of adaptation to climate change within the design process of urban planning projects: new tool(s) and new methodology(ies). ICUC9, Toulouse, 20-24 juillet 2015 (accepté) (communication avec article)

Nassopoulos, H., The challenge of adaptation to climate change and three Parisian urban planning projects; presentation and round table, The Journey, Climate KIC, UPMC, 18 juillet 2014

Colombert, M. Nassopoulos, H. "Adaptatio project: Integration of adaptation to climate change within the design process of urban planning projects". *Conférence Industrial and Commercial Use of Energy ICUE, Cape Town, Afrique du Sud, 19-21 Août 2013.* (communication avec article)

Colombert, M. Nassopoulos, H. "Adaptatio project: Integration of adaptation to climate change within the design process of urban planning projects". *Séminaire Institut Français d'Afrique du Sud, Johannesburg, Afrique du Sud, 26 Août 2013*

Participations aux colloques nationaux

Colombert, M. ADAPTATIO : Intégration de l'adaptation au changement climatique dans la conception des projets d'aménagements urbains : nouveau(x) outil(s) et nouveau(x) métier(s). Colloque Programme GICC, Paris, 10 octobre 2012.

Autres

EGIS Concept était également présent lors d'Ecocity à Nantes en 2013 et a pu présenter ses réflexions sur « Comment aborder l'adaptation au changement climatique ? »

Colombert, Morgane. Participation à la table ronde « Réchauffement climatique : comment organiser nos villes pour répondre à cette menace ? » organisée par Boury, Tallon et associés pour des parlementaires. 28 mai 2014.

Colombert, Morgane. Participation à la table ronde « les modèles d'une ville durable en matière climatique et énergétique: quelle mobilisation des savoirs environnementaux et de l'ingénieur ? ». Rencontres Ramau, Paris, 14 et 15 novembre 2013.

ADAPTATIO

Atelier de restitution auprès du GICC et d'invités (collectivités & scientifiques) le 9 décembre 2014 à CDC Climat.

Journée du Club ViTeCC du 7 avril 2015 avec une table-ronde consacrée au projet ADAPTATIO et synthèse de 8 pages distribuée aux membres du club

B. Résumés courts

a. Résumé

Le projet ADAPTATIO a permis de réfléchir sur les moyens aujourd'hui disponibles pour aborder lors de la conception de projets d'aménagement la question de l'adaptation au changement climatique conjointement à celle de l'atténuation. Pour cela, le caractère adapté a été défini en fonction de deux ressources clés pour demain - l'eau et l'énergie - et sur l'évaluation économique de ces deux consommations. L'exploration de possibles contrastés a été privilégiée de manière à faire apparaître les conséquences, notamment économiques, de ces choix. Des solutions privilégiant des actions sur l'enveloppe des bâtiments, sur les équipements et sur l'environnement immédiat des bâtiments concernés ont été identifiées. Chaque solution représente un investissement, des coûts de fonctionnement et de maintenance, et une durée de vie bien spécifique.

Par la suite, la réflexion menée en commun avec des professionnels de l'aménagement urbain ont conduit à deux constats. Premièrement, l'adaptation ne figure pas au cahier des charges des projets en cours ou projetés à court terme, dont le déroulé et le suivi au quotidien se révèlent déjà très complexes. L'incertitude autour de l'intensité des futurs changements climatiques ne facilite pas leur prise en considération lors des projets. Deuxièmement, ce relatif retrait par rapport à l'adaptation, dû à la prégnance des aspects opérationnels de la conduite d'opérations, est cependant accompagné d'un appétit à disposer d'éléments d'appréciation de l'ampleur et de l'urgence d'éventuelles mesures d'adaptation.

Les outils développés dans le cadre du projet ADAPTATIO et notamment la « toolbox » entendent proposer une réponse à ces attentes des professionnels. Cet outil traite les résultats de logiciels de simulation d'une part à l'échelle du bâtiment (CLIM'ELIOTH : outil d'écoconception développé par Egis Concept et abordant les enjeux énergétiques et de confort du bâti.), d'autre part à l'échelle du quartier (ENVI-MET : outil de simulation du confort urbain prenant notamment en compte les phénomènes d'évapotranspiration de la végétation). Ces logiciels utilisent des données météorologiques à horizon 2050-2100 fournies dans le cadre du projet ADAPTATIO par Météonorm. La toolbox ADAPTATIO intègre également des données économiques relatives aux coûts de l'énergie et de l'eau aux mêmes horizons temporels que pour le climat. Cet outil permet de répondre au souhait des professionnels à disposer d'indicateurs synthétiques associés à la qualification du confort intérieur et extérieur à l'échelle d'un quartier. Une approche du coût associé est également accessible. La portée de la toolbox ADAPTATIO réside dans sa capacité à sensibiliser les acteurs aux enjeux associés à une nouvelle donne climatique. Un soin particulier a été apporté à l'interface que des tests ultérieurs pourront amener à améliorer. Ses limites actuelles sont de nécessiter une nouvelle saisie complète de données (géométrie et description des bâtiments et de leur environnement) pour un nouveau quartier.

L'objectif dans le cadre d'ADAPTATIO a cependant été atteint : rendre possible une exploration par des professionnels de l'incidence d'un climat futur sur les consommations en eau et en énergie d'un groupe d'immeubles effectivement réalisés dans la ZAC Tolbiac. Il s'agit avant tout de créer les conditions d'un échange sans prétendre se substituer aux outils d'étude et de simulation détaillées mobilisés de manière opérationnelle par les acteurs de l'aménagement urbain. La maturité de la notion d'adaptation et des réflexions sur ses liens étroits avec l'atténuation paraît encore insuffisante au vu de l'analyse des recherches sur ces sujets. Il semble dès lors nécessaire de poursuivre cette maturation et la toolbox ADAPTATIO peut y contribuer. Le projet a également suscité des échanges riches lors des ateliers et des séances publiques quant aux aspects économiques de l'adaptation. Quelques jalons ont été posés en lien avec les pratiques professionnelles afin de faciliter l'échange entre économistes et praticiens quant aux implications économiques et financières de l'adaptation, tout en gardant en tête que les perspectives à long terme d'évolution des coûts (de l'énergie et de l'eau) sont difficiles à appréhender.

b. Abstract

During the ADAPTATIO project, partners have reflected on the means available to address in the design of development projects the issue of adaptation to climate change in relation with mitigation. For this, the adaptation has been defined in terms of two key resources for tomorrow - water and energy - and on the economic evaluation of these two intakes. Exploring contrasted possible futures was privileged to show the consequences, including economic, of those choices. Solutions to act on the building envelope, on equipment and on the immediate environment of the buildings were identified. Each solution has an investment cost, operating and maintenance costs, and a very specific lifetime.

Thereafter, the reflections in common with professional urban development have led to two conclusions. Firstly, the adaptation does not appear to the specifications of ongoing and planned projects. The project and the daily monitoring are already very complex. The consideration of climate change during project is not easy due to the uncertainty regarding the intensity of future climate change. Secondly, this relative lack of interest on adaptation, due to the significance of the operational aspects of the conduct of operations, however, is accompanied by a curiosity to have elements of appreciation regarding the magnitude and urgency to set up adaptation measures.

Premièrement, l'adaptation ne figure pas au cahier des charges des projets en cours ou projetés à court terme, dont le déroulé et le suivi au quotidien se révèlent déjà très complexes. L'incertitude autour de l'intensité des futurs changements climatiques ne facilite pas leur prise en considération lors des projets.

The tools developed within the project ADAPTATIO, including the "toolbox", intend to propose an answer to the needs of professionals. This toolbox processes the results of simulation software to the scale of the building on the one hand (CLIM'ELIOTH. Ecodesign tool developed by Egis Concept and addressing energy issues and comfort of buildings), to the neighborhood level on the other hand (ENVI-MET: simulation tool on urban comfort particularly taking into account the evapotranspiration of vegetation phenomena). This software uses meteorological data for 2050-2100 provided by Meteonorm. The toolbox also includes economic data regarding the costs of energy and water to the same time periods as for the climate. This tool enables meeting the wishes of professionals to have synthetic indicators on the qualification of indoor and outdoor comfort at the neighborhood level. The associated costs are also accessible. ADAPTATIO toolbox is able to raise awareness of professionals regarding the issues due to a new climate. Particular attention has been paid to the interface that further tests will lead to improvement. Its current limits are to require a complete new data entry (geometry and description of buildings and their environment) to analyze a new neighborhood.

The ADAPTATIO objective was however achieved: to make possible an exploration by professionals on the incidence of future climate on water consumption and energy of a group of buildings actually made in the ZAC Tolbiac. It is all about creating the conditions for an exchange without pretending to replace the detailed study and simulation tools operationally mobilized by the actors of urban development. The maturity of the concept of adaptation and reflections on its close ties with mitigation still seems inadequate given the analysis of research on these topics. It seems therefore necessary to continue the maturation and ADAPTATIO toolbox may help. The project has also attracted the rich exchanges at workshops and public meetings about the economic aspects of adaptation. Some steps have been taken in connection with the professional practices to facilitate the exchange between economists and practitioners about the economic and financial implications of adaptation. However the long-term outlook for costs (energy and water) is difficult to understand.

C. Synthèses

a. Synthèse

Le cadre bâti, constitué des bâtiments et des réseaux (de surface, aériens et souterrains) qui les relie, est par nature exposé aux agents climatiques. Une des fonctions essentielles des bâtiments n'est-elle pas d'ailleurs la protection du groupe humain contre les vicissitudes du climat ? Les constructions traditionnelles et récentes sont adaptées en ce sens qu'elles assurent les fonctions premières de protection des personnes et des biens face aux effets d'aléas d'origine climatique. Au fur et à mesure de l'enrichissement des sociétés, de nouvelles déclinaisons des fonctions attendues du cadre bâti se sont faites jour. Le maintien d'une ambiance égale dans les bâtiments en toutes saisons est ainsi devenu possible au prix d'une dépense énergétique facilement consentie du fait de la modestie du coût de l'énergie au XXème siècle.

L'émergence probable d'une nouvelle donne climatique à brève échéance (à l'échelle des périodes séculaires précédentes au cours desquelles le cadre bâti a été adapté aux conditions climatiques locales) et des évolutions des prix de l'énergie portent en elles des facteurs pouvant conduire à de nouveaux changements, de nouvelles évolutions.

Le projet ADAPTATIO s'inscrit dans ces réflexions sur les conséquences à moyen terme d'une nouvelle donne climatique. Le projet ADAPTATIO n'avait pas l'ambition d'appréhender dans leur entièreté les questions systémiques soulevées par la démarche d'adaptation aux effets du changement climatique. Il a permis de réfléchir sur les moyens aujourd'hui disponibles pour aborder lors de la conception de projets d'aménagement la question de l'adaptation au changement climatique conjointement à celle de l'atténuation, de la mitigation. Pour cela, le caractère adapté a été défini en fonction de deux ressources clés pour demain - l'eau et l'énergie - et sur l'évaluation économique de ces deux consommations. En effet, aujourd'hui, l'évaluation des consommations énergétiques s'appuie uniquement sur les données actuelles de température, ce qui implique que la qualité énergétique des aménagements est aujourd'hui évaluée à l'aune d'un climat passé et non futur. Les réflexions menées dans le cadre du projet ADAPTATIO ont permis à la fois le développement d'un outil simple de représentation des consommations énergétiques et d'eau d'un projet d'aménagement selon différents scénarios climatiques et de discuter sur une nouvelle organisation de la réflexion autour des enjeux énergétiques lors d'un projet en faisant intervenir l'ensemble des parties prenantes d'un projet pour les associer au processus d'innovation.

Il est de nombreuses manières de « s'adapter » à des périodes de chaleur anormalement longues ; parmi celles-ci, certaines sont une cause de « mal-adaptation », comme la pose spontanée de climatiseurs individuels qui augmente la consommation énergétique et les émissions de GES.

L'exploration de possibles contrastés a été privilégiée de manière à faire apparaître les conséquences, notamment économiques, de ces choix. Des solutions privilégiant des actions sur l'enveloppe des bâtiments, sur les équipements et sur l'environnement immédiat des bâtiments concernés ont été identifiées. Chaque solution représente un investissement, des coûts de fonctionnement et de maintenance, et une durée de vie bien spécifique.

Les consommations d'eau ont été restreintes aux usages publics (arrosage des espaces verts, alimentation de bassins). Les usages domestiques de l'eau à des fins d'adaptation à des températures élevées n'ont pas été pris en compte car leur approche relève de méthodes sociologiques non portées par l'équipe projet.

Dans le cadre ainsi défini, la réflexion menée en commun avec des professionnels de l'aménagement urbain ont conduit à deux constats.

Premièrement, l'adaptation ne figure pas au cahier des charges des projets en cours ou projetés à court terme, dont le déroulé et le suivi au quotidien se révèlent déjà très complexes. L'incertitude

autour de l'intensité des futurs changements climatiques ne facilitent pas leur prise en considération lors des projets.

Deuxièmement, ce relatif retrait par rapport à l'adaptation, dû à la prégnance des aspects opérationnels de la conduite d'opérations, est cependant accompagné d'un appétit à disposer d'éléments d'appréciation de l'ampleur et de l'urgence d'éventuelles mesures d'adaptation.

Les outils développés dans le cadre du projet ADAPTATIO et notamment la « toolbox » entendent proposer une réponse à ces attentes des professionnels.

Cet outil traite les résultats de logiciels de simulation d'une part à l'échelle du bâtiment (CLIM'ELIOTH : outil d'écoconception développé par Egis Concept et abordant les enjeux énergétiques et de confort du bâti.), d'autre part à l'échelle du quartier (ENVI-MET : outil de simulation du confort urbain prenant notamment en compte les phénomènes d'évapotranspiration de la végétation). Ces logiciels utilisent des données météorologiques à horizon 2050-2100 fournies dans le cadre du projet ADAPTATIO par Météonorm.

La toolbox ADAPTATIO intègre également des données économiques relatives aux coûts de l'énergie et de l'eau aux mêmes horizons temporels que pour le climat.

Cet outil permet de répondre au souhait des professionnels à disposer d'indicateurs synthétiques associés à la qualification du confort intérieur été extérieur à l'échelle d'un quartier. Une approche du coût associé est également accessible.

La portée de la toolbox ADAPTATIO réside dans sa capacité à sensibiliser les acteurs aux enjeux associés à une nouvelle donne climatique. Un soin particulier a été apporté à l'interface que des tests ultérieurs pourront amener à améliorer. Ses limites actuelles sont de nécessiter une nouvelle saisie complète de données (géométrie et description des bâtiments et de leur environnement) pour un nouveau quartier.

L'objectif dans le cadre d'ADAPTATIO a cependant été atteint : rendre possible une exploration par des professionnels de l'incidence d'un climat futur sur les consommations en eau et en énergie d'un groupe d'immeubles effectivement réalisés dans la ZAC Tolbiac. Il s'agit avant tout de créer les conditions d'un échange sans prétendre se substituer aux outils d'étude et de simulation détaillées mobilisés de manière opérationnelle par les acteurs de l'aménagement urbain.

La maturité de la notion d'adaptation et des réflexions sur ses liens étroits avec l'atténuation paraît encore insuffisante au vu de l'analyse des recherches sur ces sujets. Il semble dès lors nécessaire de poursuivre cette maturation et la toolbox ADAPTATIO peut y contribuer.

Le projet a également suscité des échanges riches lors des ateliers et des séances publiques quant aux aspects économiques de l'adaptation. Quelques jalons ont été posés en lien avec les pratiques professionnelles afin de faciliter l'échange entre économistes et praticiens quant aux implications économiques et financières de l'adaptation, tout en gardant en tête que les perspectives à long terme d'évolution des coûts (de l'énergie et de l'eau) sont difficiles à appréhender.

Les travaux menés dans le cadre du projet ADAPTATIO ouvrent des perspectives nombreuses :

- organiser l'échange entre scientifiques et professionnels afin de développer une approche opérationnelle de l'adaptation aux effets du changement climatique ;
- affiner l'approche économique de l'adaptation en explorant des scénarios contrastés d'évolution des facteurs influents ;
- intégrer d'autres indicateurs comme le niveau d'émission de GES associé aux solutions techniques retenues ;

ADAPTATIO

- ouvrir la possibilité d'associer de futurs usagers du quartier au choix de solutions d'adaptation par un renforcement des possibilités de visualisation et un effort pédagogique de présentation des résultats de simulation ;
- créer les conditions à la mobilisation des démarches de « design-thinking » en valorisant les outils comme la toolbox ADAPTATIO en tant que support à l'intervention de designers spécialisés.

Valorisation

Participations aux colloques internationaux

Nassopoulos Hypatia, Mangeot Antoine, Colombert Morgane, Leseur Alexia, Gantois Marie, Salagnac Jean-Luc, Jacquet Laurent, Meunier Guillaume. Design thinking and urban planning projects: Towards new climatic services for climate change adaptation? ICUC9, Toulouse, 20-24 juillet 2015 (accepté) (communication avec article)

Colombert Morgane, Gantois Marie, Jacquet Laurent, Leseur Alexia, Meunier Guillaume, Nassopoulos Hypatia, Salagnac Jean-Luc. Integration of adaptation to climate change within the design process of urban planning projects: new tool(s) and new methodology(ies). ICUC9, Toulouse, 20-24 juillet 2015 (accepté) (communication avec article)

Nassopoulos, H., The challenge of adaptation to climate change and three Parisian urban planning projects; presentation and round table, The Journey, Climate KIC, UPMC, 18 juillet 2014

Colombert, M. Nassopoulos, H. "Adaptatio project: Integration of adaptation to climate change within the design process of urban planning projects". *Conférence Industrial and Commercial Use of Energy ICUE, Cape Town, Afrique du Sud*, 19-21 Août 2013. (communication avec article)

Colombert, M. Nassopoulos, H. "Adaptatio project: Integration of adaptation to climate change within the design process of urban planning projects". *Séminaire Institut Français d'Afrique du Sud, Johannesburg, Afrique du Sud*, 26 Août 2013

Participations aux colloques nationaux

Colombert, M. ADAPTATIO : Intégration de l'adaptation au changement climatique dans la conception des projets d'aménagements urbains : nouveau(x) outil(s) et nouveau(x) métier(s). Colloque Programme GICC, Paris, 10 octobre 2012.

Autres

EGIS Concept était également présent lors d'Ecocity à Nantes en 2013 et a pu présenter ses réflexions sur « Comment aborder l'adaptation au changement climatique ? »

Colombert, Morgane. Participation à la table ronde « Réchauffement climatique : comment organiser nos villes pour répondre à cette menace ? » organisée par Boury, Tallon et associés pour des parlementaires. 28 mai 2014.

Colombert, Morgane. Participation à la table ronde « les modèles d'une ville durable en matière climatique et énergétique: quelle mobilisation des savoirs environnementaux et de l'ingénieur ? ». Rencontres Ramau, Paris, 14 et 15 novembre 2013.

Atelier de restitution auprès du GICC et d'invités (collectivités & scientifiques) le 9 décembre 2014 à CDC Climat.

Journée du Club ViTeCC du 7 avril 2015 avec une table-ronde consacrée au projet ADAPTATIO et synthèse de 8 pages distribuée aux membres du club

b. Summary

The built environment, consisting of buildings and networks (surface, overhead and underground) connecting them, is inherently vulnerable to climatic agents. A key function of the buildings is also the protection of the human group against climate vicissitudes, isn't-it? Traditional and modern buildings are adapted; they provide the first functions to protect people and property from the hazards of climate-related effects. As to the enrichment of society, new versions of the functions expected of the built environment have emerged. Maintaining an equal environment in buildings during all seasons has become possible thanks to the modest cost of energy in the twentieth century.

The likely emergence of a new climate in the short term (on the scale of previous secular periods in which the built environment has been adapted to local climatic conditions) and changes in energy prices carry with them the factors which may lead to new changes, new developments.

ADAPTATIO is part of these reflections on the medium-term consequences of a new climate. ADAPTATIO had not the ambition to understand in a global manner the systemic issues raised by the process of adaptation to climate change. Partners have reflected on the means available to address in the design of development projects the issue of adaptation to climate change in relation with mitigation. For this, the adaptation has been defined in terms of two key resources for tomorrow - water and energy - and on the economic evaluation of these two intakes.

Indeed, today, evaluation of energy consumption is based only on the current temperature data, which means that the energy quality of buildings is based on the past and not the future climate. The reflections in the ADAPTATIO project have allowed both the development of a simple tool for representing energy and water consumption of a development project under different climate scenarios and discuss a new organization of reflection on energy issues during a project by involving all the stakeholders of a project to involve them in the innovation process.

There is many ways to "adapt" to abnormally long heat waves; among them, some are a cause of "maladaptation" as spontaneous installation of room air conditioners which increases energy consumption and GHG emissions.

Exploring contrasted possible futures was privileged to show the consequences, including economic, of those choices. Solutions to act on the building envelope, on equipment and on the immediate environment of the buildings were identified. Each solution has an investment cost, operating and maintenance costs, and a very specific lifetime.

Water consumption was restricted to public uses (watering green spaces, ponds supply). Domestic use of water (for purposes of adaptation to high temperature) was not considered because their approach needs sociological methods not covered by the project team.

Thereafter, the reflections in common with professional urban development have led to two conclusions. Firstly, the adaptation does not appear to the specifications of ongoing and planned projects. The project and the daily monitoring are already very complex. The consideration of climate change during project is not easy due to the uncertainty regarding the intensity of future climate change. Secondly, this relative lack of interest on adaptation, due to the significance of the operational aspects of the conduct of operations, however, is accompanied by a curiosity to have elements of appreciation regarding the magnitude and urgency to set up adaptation measures.

The tools developed within the project ADAPTATIO, including the "toolbox", intend to propose an answer to the needs of professionals. This toolbox processes the results of simulation software to the scale of the building on the one hand (CLIM'ELIOTH. Ecodesign tool developed by Egis Concept and addressing energy issues and comfort of buildings), the neighborhood level on the other hand (ENVI-MET: simulation tool on urban comfort particularly taking into account the evapotranspiration of vegetation phenomena). This software uses meteorological data for 2050-2100 provided by

ADAPTATIO

Meteonorm. The toolbox also includes economic data regarding the costs of energy and water to the same time periods as for the climate. This tool enables meeting the wishes of professionals to have synthetic indicators on the qualification of indoor and outdoor comfort at the neighborhood level. The associated costs are also accessible. ADAPTATIO toolbox is able to raise awareness of professionals regarding the issues due to a new climate. Particular attention has been paid to the interface that further tests will lead to improvement. Its current limits are to require a complete new data entry (geometry and description of buildings and their environment) to analyze a new neighborhood.

The ADAPTATIO objective was however achieved: to make possible an exploration by professionals on the incidence of future climate on water consumption and energy of a group of buildings actually made in the ZAC Tolbiac. It is all about creating the conditions for an exchange without pretending to replace the detailed study and simulation tools operationally mobilized by the actors of urban development. The maturity of the concept of adaptation and reflections on its close ties with mitigation still seems inadequate given the analysis of research on these topics. It seems therefore necessary to continue the maturation and ADAPTATIO toolbox can help. The project has also attracted the rich exchanges at workshops and public meetings about the economic aspects of adaptation. Some steps have been taken in connection with the professional practices to facilitate the exchange between economists and practitioners about the economic and financial implications of adaptation. However the long-term outlook for costs (energy and water) is difficult to understand.

The work carried out under the project ADAPTATIO open many perspectives:

- Organize the exchange between scientists and professionals to develop an operational approach to adaptation to climate change;
- Refine the economic approach to discuss adaptation exploring contrasting scenarios for influential factors;
- Integrate other indicators such as GHG emission levels due to the chosen technical solutions;
- Open the possibility of involving future users of the district to the choice of adaptation options by strengthening viewing opportunities and an educational effort on presentation of simulation results;
- Create the conditions for the mobilization of "design-thinking" methods by enhancing tools like ADAPTATIO toolbox as a support to the intervention of specialized designers.

Dissemination

International conferences

Nassopoulos Hypatia, Mangeot Antoine, Colombert Morgane, Leseur Alexia, Gantois Marie, Salagnac Jean-Luc, Jacquet Laurent, Meunier Guillaume. Design thinking and urban planning projects: Towards new climatic services for climate change adaptation? ICUC9, Toulouse, 20-24 juillet 2015 (accepté) (communication avec article)

Colombert Morgane, Gantois Marie, Jacquet Laurent, Leseur Alexia, Meunier Guillaume, Nassopoulos Hypatia, Salagnac Jean-Luc. Integration of adaptation to climate change within the design process of urban planning projects: new tool(s) and new methodology(ies). ICUC9, Toulouse, 20-24 juillet 2015 (accepté) (communication avec article)

Nassopoulos, H., The challenge of adaptation to climate change and three Parisian urban planning projects; presentation and round table, The Journey, Climate KIC, UPMC, 18 juillet 2014

ADAPTATIO

Colombert, M. Nassopoulos, H. "Adaptatio project: Integration of adaptation to climate change within the design process of urban planning projects". *Conférence Industrial and Commercial Use of Energy ICUE, Cape Town, Afrique du Sud, 19-21 Août 2013*. (communication avec article)

Colombert, M. Nassopoulos, H. "Adaptatio project: Integration of adaptation to climate change within the design process of urban planning projects". *Séminaire Institut Français d'Afrique du Sud, Johannesburg, Afrique du Sud, 26 Août 2013*

National conferences

Colombert, M. ADAPTATIO : Intégration de l'adaptation au changement climatique dans la conception des projets d'aménagements urbains : nouveau(x) outil(s) et nouveau(x) métier(s). Colloque Programme GICC, Paris, 10 octobre 2012.

Miscellaneous

Présence of EGIS Concept in Ecocity (Nantes, 2013) to talk about How to tackle the climate change adaptation.

Colombert, Morgane. Round Table, « Global warming: how to organize our cities to respond to this threat? » organized by "Boury, Tallon et associés" for politicians. 28 may 2014.

Colombert, Morgane. Round table « models for sustainable city in climate and energy: how mobilize environmental and engineering knowledge? ». Rencontres Ramau, Paris, 14 et 15 novembre 2013.

Restitution workshop with GICC, local authorities and scientists, 9 december 2014, CDC Climat.

Club ViTeCC, 7 april 2015, round table on ADAPTATIO with a summary of 8 pages