



**HAL**  
open science

**“ Entretiens sur les outils numériques et leurs pratiques dans l'écoconception architecturale et urbaine, dans des entreprises d'architecture, d'urbanisme et d'ingénierie environnementale ”**

Philippe Villien, Pierre Estève, Claire Duclos-Prevet, Marina Maurin,  
Giovanna Togo

► **To cite this version:**

Philippe Villien, Pierre Estève, Claire Duclos-Prevet, Marina Maurin, Giovanna Togo. “ Entretiens sur les outils numériques et leurs pratiques dans l'écoconception architecturale et urbaine, dans des entreprises d'architecture, d'urbanisme et d'ingénierie environnementale ”. *Efficacity; Ipraus; In Silico Architecture*. 2023. hal-04078093v2

**HAL Id: hal-04078093**

**<https://hal.science/hal-04078093v2>**

Submitted on 16 Jul 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

**Titre de la recherche :**

« Entretiens sur les outils numériques et leurs pratiques dans l'écoconception architecturale et urbaine, dans des entreprises d'architecture, d'urbanisme et d'ingénierie environnementale »

## >> Rapport de recherche

NB : version définitive

Version : v17 – texte décembre 2022 > modifié 10 juin 2023.

**Commanditaire :**

**EFFICACITY - Efficacity**

Boulevard Isaac-Newton - Cité Descartes - 77420 Champs-sur-Marne

**Partenaires :**

**IPRAUS / UMR AUSser 3329** – 60 boulevard de la Villette – 75019 Paris

**ISA – In Silico Architecture** - 31, rue Charles-Michels – 77400 Lagny-sur-Marne

**Auteurs :**

**Villien et al** : Philippe Villien, Pierre Estève, Claire Duclos, Marina Maurin, Giovanna Togo.

Rôles :

**Responsable ensemble de la Recherche** : Philippe Villien, Architecte enseignant chercheur à l'IPRAUS / ENSAPB

**Ingénieur recherche responsable chez ISA** : Pierre Estève, Architecte Politecnico di Milano et Ingénieur ENSTA Paris, Doctorat en cotutelle – Université d'Edimbourg / ETH Zürich

**Responsable de recherche à Efficacity**, cadrage recherche et élaboration des entretiens : Claire Duclos-Prévet, Efficacity, Doctorat au Laboratoire MAACC de l'UMR MAP 3495 CNRS/MCC à l'ENSAPLV

## Cadre de la recherche - références générales

### Pour citation

**Villien et al 2020** : Philippe Villien, Pierre Estève, Claire Duclos, Marina Maurin, Giovanna Togo, *recherche « Entretiens sur les outils numériques et leurs pratiques dans l'écoconception architecturale et urbaine, dans des entreprises d'architecture, d'urbanisme et d'ingénierie environnementale »*, Efficacity, Ipraus UMR AUSser 3329, ISA, Paris, décembre 2020, rapport 120 pages, annexe 524 pages, téléchargeable : à déterminer ultérieurement.

### Annexe à ce présent rapport

Le présent rapport comporte une annexe avec les retranscriptions des interviews, ayant été pseudonymisés. Elle est diffusable. Les accords de confidentialité des interviewé.e.s ont été obtenus définitivement, par demandes du 22 décembre 2022, avec un délai jusqu'au 15 février 2023.

### Organisation de la recherche :

**Chef de file de la recherche** : Philippe Villien - Architecte Urbaniste, Enseignant ENSAPB, chercheur à l'UMR AUSser / IPRAUS.

### Auteurs du rapport :

- Philippe Villien, Architecte Urbaniste, Enseignant ENSAPB, chercheur à l'UMR AUSser / IPRAUS. Responsable, ingénieur de recherche.
- Pierre Estève, Architecte Ingénieur, doctorant University of Edinburgh / ETHZ, ISA – In Silico Architecture - co-auteur du rapport).

### Groupe de travail de la recherche :

- Marina Maurin - Efficacity - responsable projet xMUSE au rendu de la recherche.
- Claire Duclos-Prévet - Efficacity – ex-responsable projet xMUSE.
- Giovanna Togo – salariée à Efficacity.
- Catherine Rigal, relectrice ISA.

## Cadres de cette recherche au sein des différents partenaires

### A EFFICACITY :

Ce rapport s'inscrit dans les programmes de recherche d'EFFICACITY. Le cadre général du programme de recherche est « QHP3 - Configuration des îlots urbains performants ». Particulièrement, ce rapport est une contribution au projet « xMUSE » : eXploration des Morphologies Urbaines pour la Sobriété Energétique.

Pour une présentation générale du projet xMUSE, voir la synthèse suivante : <https://www.efficacity.com/wp-content/uploads/2019/02/Brochure-xmuse-1.pdf>

Inscription de ce rapport dans le lot 4 :

<b>Projet QHP3</b>	<b>Configuration des îlots urbains performants</b>
Lot 1	Qualité d'usage des tissus urbains
Lot 2	Qualité énergétique et environnementale des tissus urbains
Lot 3	Outils d'exploration et d'évaluation des morphologies urbaines et des esquisses fonctionnelles
<b>Lot 4</b>	<b>Définition et études de solutions</b>
Valo	Valorisation : montage de partenariats de R&D

### A l'IPRAUS :

Activités recherche, sur la période de 2017 à 2022.

La présente recherche correspond à la participation de Philippe Villien aux activités de recherche d'Efficacity dans le cadre d'une convention pluriannuelle Efficacity / ENSAPB – Ipraus de 2016 à août 2018. Cette recherche s'est poursuivie jusqu'en décembre 2022, date de la diffusion définitive aux interviewés.ées pour approbation du texte de l'annexe.

### A ISA – In Silico Architecture :

ISA a été chargée sur la période de 2019 à 2023 de la finalisation de la recherche, analyse thématique et discussion des résultats.

Au sein d'ISA – In Silico Architecture, le département RetD développe ses projets de recherche en plusieurs axes ayant trait au domaine numérique :

Axe 1 : Implémentation des critères environnementaux dans le processus BIM

Axe 2 : LIM - Landscape Information Modeling et végétaux

Axe 3 : Pratiques numériques et écoconception



« Entretiens sur les outils numériques et leurs pratiques dans l'écoconception architecturale et urbaine, dans des entreprises d'architecture, d'urbanisme et d'ingénierie environnementale »

EFFICACITY / IPRAUS / ISA - version v17 – 10 juin 2023

Pour la RetD d'ISA, le présent rapport de recherche s'inscrit dans l'axe 3 à travers le projet « isa7003 \_entretiens\_pratiques\_numeriques ».

## SOMMAIRE

<b>« Entretiens sur les outils numériques et leurs pratiques dans l'écoconception architecturale et urbaine, dans des entreprises d'architecture, d'urbanisme et d'ingénierie environnementale ».....</b>	<b>1</b>
Commanditaire : .....	1
Partenaires : .....	1
Auteurs : .....	1
<b>Cadre de la recherche - références générales.....</b>	<b>2</b>
<b>Pour citation.....</b>	<b>2</b>
<b>Organisation de la recherche : .....</b>	<b>2</b>
<b>Cadres de cette recherche au sein des différents partenaires .....</b>	<b>3</b>
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>5</b>
<b>« Entretiens sur les outils numériques et leurs pratiques dans des entreprises d'architecture, d'urbanisme et d'ingénierie environnementale ».....</b>	<b>8</b>
<b>Préambule .....</b>	<b>8</b>
<b>1 - Précisions sur le corpus d'étude.....</b>	<b>9</b>
<b>1,1 - Déroulé de la réalisation des entretiens et du rapport.....</b>	<b>9</b>
<b>1,2 - Constitution du corpus d'étude .....</b>	<b>9</b>
1,21 - Les chiffres clés de notre corpus .....	9
1,22 - Composition du corpus d'étude .....	9
<b>1,2 - Référentiels sur les compétences mobilisées par le corpus d'étude.....</b>	<b>13</b>
1,23 - Pour les architectes .....	13
1,24 - Pour les urbanistes.....	14
1,25 - Pour les ingénieurs environnementaux .....	14
1,25 - Pour les programmistes .....	14
<b>1,3 - Comparatif par familles d'outils numériques d'écoconception.....</b>	<b>15</b>
Comparatif du degré de pénétration des différentes familles d'outils dans les structures où travaillent les interviewés.....	15
Commentaires sur les résultats du comparatif.....	18
<b>2 - Les hypothèses initiales .....</b>	<b>19</b>
2,1 - Une intégration différenciée de l'écoconception.....	19
2,2 - Des clivages professionnels et institutionnels très présents .....	19
2,3 - Les outils numériques : un usage contrasté .....	20
<b>3 - Résumé du recueil des entretiens .....</b>	<b>21</b>
<b>3,1 - Élaboration des entretiens restitués : un processus pluridisciplinaire et de décantation .....</b>	<b>21</b>
3,11 - Déroulé de la mission « entretiens d'acteurs et d'experts » .....	21
3,12 - Conséquence de la pseudonymisation des entretiens en annexe .....	24
<b>3,2 - Les parties du protocole d'entretien .....</b>	<b>24</b>
3,21 - Synthèse sur le protocole .....	24
3,22 - Présentation du protocole envoyé préalablement à l'entretien oral.....	25
3,23 - Cadre général de l'entretien .....	26

3,24 - Grille des questions .....	27
<b>4 - Analyse des résultats vis-à-vis de nos hypothèses.....</b>	<b>30</b>
<b>4,1 - Méthodologie .....</b>	<b>30</b>
Grille d'analyse thématique.....	30
Démarche narrative qualitative pour l'analyse des grands axes communs .....	31
Analyse des pratiques spécifiques.....	32
<b>4,2 – Les notes synthétiques des entretiens .....</b>	<b>33</b>
Entretien URB1 et URB2 : architectes urbanistes, cogérants ENT1 .....	33
Entretien URB3 : architecte urbaniste, cogérant ENT2.....	35
Entretien URB4 : architecte urbaniste, cogérant de ENT5.....	37
Entretien URB5 : architecte urbaniste, ENT10 .....	38
Entretien URB6 : architecte urbaniste, associé ENT14 .....	40
Entretien URB7 et URB8 : architectes urbanistes, associés dirigeants ENT15.....	41
Entretien ARCHI1 : architecte, ENT4.....	42
Entretien ARCHI2 : architecte, associé ENT8 .....	44
Entretien ARCHI3 : architecte, associé dirigeant ENT13.....	46
Entretien ARCHI4 : architecte, dirigeant, ENT16.....	48
Entretien ARCHI5, ARCHI6 et ARCHI7 : architectes, ENT17.....	50
Entretien INGE1 : PDG de ENT3 .....	52
Entretien INGE2 : architecte-ingénieur chez ENT6 .....	54
Entretien INGE3 : architecte ingénieur, ENT7, Chef de projet pôle physique du bâtiment... 56	
Entretien INGE4 : ingénieur architecte, dirigeant ENT9 .....	59
Entretien INGE5 et INGE6 : ingénieur architecte, PDG ENT11.1 et ingénieur, directeur ENT11.2.....	61
Entretien INGE7 : architecte ingénieure polytechnique Milan, ENT18.....	64
Entretien PROG 1 : programmiste, Directeur associé ENT12.....	67
<b>4,3 – Analyse thématique .....</b>	<b>68</b>
4,31 – Économique .....	68
4,32 – Environnemental.....	70
4,33 – Organisationnel.....	71
4,34 – Réglementaire.....	76
4,35 – Social / Institutionnel.....	78
4,36 – Technique .....	82
4,37 – Vue d'ensemble .....	87
<b>4,4 – Grands axes communs d'analyse.....</b>	<b>88</b>
4,41 – Axe 1 : L'intégration de la transition écologique dans les entreprises et agences de notre corpus .....	88
4,42 – Axe 2 : L'innovation numérique bridée .....	92
4,43 – Axe 3 : L'approche théorique et numérique de l'écoconception .....	103
<b>4,5 – Quelques singularités .....</b>	<b>109</b>
Le dépôt de brevets comme stratégie centrale.....	109
Les outils de l'écoconception intégrés dans l'agence renforcée par un savoir-faire international.....	109
<b>5 - Discussions des résultats et priorisation des objectifs .....</b>	<b>111</b>

<b>5,1 – Donner de la transversalité à l'intégration de la transition écologique dans les entreprises.....</b>	<b>111</b>
5,11 – Intensifier les études environnementales .....	111
5,12 – Intégrer en amont les études environnementales dans la chaîne de valeur de ces études .....	112
5,13 – Intensifier le partage de la culture de l'architecte et de l'ingénieur .....	113
5,14 – Partager les indicateurs environnementaux .....	115
<b>5,2 – Donner du pouvoir à l'écoconception.....</b>	<b>116</b>
5,21 – Intégrer explicitement l'aspect environnemental et social au cadre légal.....	116
5,22 – Inciter à un plus fort engagement écologique de la maîtrise d'ouvrage .....	117
5,23 – Rehausser la valeur accordée aux stratégies écologiques.....	118
<b>5,3 – Mettre la technique et les outils numériques au service de la transition .....</b>	<b>119</b>
5,31 – Fiabiliser l'utilisation des outils numériques d'aide à la conception.....	120
5,32 – Rendre les outils numériques moteur de l'écoconception.....	121
5,33 – Promouvoir la place accordée à l'académique .....	122
5,34 – Faire confiance à la nouvelle génération de concepteurs.....	123
<b>6 – Conclusion .....</b>	<b>125</b>
<b>6,1 – Conduite de l'analyse .....</b>	<b>125</b>
<b>6,2 – Synthèse.....</b>	<b>125</b>
<b>7 - Ouverture vers d'autres problématiques.....</b>	<b>126</b>
Comment la crise sanitaire de la Covid-19 influe-t-elle sur l'écoconception dans les entreprises de l'architecture et de l'urbanisme ?.....	126
L'amplification des pratiques numériques, avec le déploiement du télétravail, provoque-t-elle un meilleur ressenti vis-à-vis de ces outils ? .....	127
Les changements de mentalités, induits par les crises sanitaire, économique et sociale, seront-ils suffisamment amples pour accélérer la transition écologique ?.....	127
<b>Liste des figures .....</b>	<b>128</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>129</b>
<b>Sur les professions, compétences et métiers .....</b>	<b>129</b>
<b>Sur les processus de l'écoconception.....</b>	<b>130</b>
<b>Simulations environnementales.....</b>	<b>130</b>
<b>Ouvrages généraux.....</b>	<b>131</b>

## « Entretiens sur les outils numériques et leurs pratiques dans des entreprises d'architecture, d'urbanisme et d'ingénierie environnementale »

### Préambule

Cette recherche porte sur les pratiques d'écoconception qui utilisent les outils numériques. Elle s'intéresse tout particulièrement aux pratiques numériques des concepteurs à l'échelle urbaine, sur les îlots urbains. Ces « écoconcepteurs » viennent de diverses formations et pratiquent les métiers d'architectes, d'urbanistes, d'ingénieurs et de programmistes.

Cette recherche renvoie aux enjeux écologiques qui s'imposent dès les études préliminaires de programmation et de conception urbaine. Ces enjeux écologiques vont s'intensifier plus encore dans les décennies à venir, il est donc utile et urgent de comprendre mieux comment s'articule actuellement l'usage des outils numériques avec les questions environnementales et écologiques. Sont ici particulièrement observés les résistances et obstacles au développement de la conception environnementale – ou « écoconception » – assistée par ordinateur (CEAO).

## 1 – Précisions sur le corpus d'étude

### 1,1 – Déroulé de la réalisation des entretiens et du rapport

Cette recherche est basée sur une série d'entretiens avec des professionnels de la conception architecturale et urbaine. Les entretiens se sont déroulés en 2017 et 2018, ils ont été effectués par Philippe Villien (Ipraus UMR AUSser) et Claire Duclos-Prévet (Efficacity).

L'analyse des résultats et la discussion du rapport ont été rédigés par Philippe Villien (ISA) et Pierre Estève (ISA).

Un groupe de travail a accompagné la recherche (voir ci-dessus « organisation de la recherche »).

### 1,2 - Constitution du corpus d'étude

Notre corpus d'étude s'inscrit dans le contexte large des acteurs de la conception urbaine et architecturale : maîtres d'ouvrage, collectivités, promoteurs, constructeurs, bailleurs sociaux. L'échantillon d'acteurs dont les pratiques sont observées dans cette recherche comprend des « concepteurs urbains et architecturaux », architectes, urbanistes, ingénieurs et programmistes. Ils pratiquent tous l'écoconception.

NB : les noms des interviewés ont été anonymisés. La liste complète est visible dans la figure 1. Les renvois aux citations des interviewés se réfèrent à l'annexe au présent rapport.

#### 1,21 – Les chiffres clés de notre corpus

Les chiffres clés sont les suivants :

- 18 unités d'interviews, d'environ une heure chacun.
- 27 personnes, travaillant dans 19 structures différentes.
- 4 corps de métiers, architectes, urbanistes, ingénieurs thermicien et structure, programmiste.

#### 1,22 – Composition du corpus d'étude

Nous avons constitué un corpus d'étude par des entretiens retranscrits (N=18) des différents acteurs (N=25) : architectes (N=7), architectes-urbanistes (N=10), ingénieurs (N=7), programmiste ((N=1). Ces acteurs travaillent dans des entreprises d'architecture (N=5), d'architecture et d'urbanisme (N=6) et des bureaux d'études environnementaux (N=7), bureau de programmation (N=1).

CORPUS D'ÉTUDES PAR METIERS / COMPÉTENCES ET STRUCTURES / ENTREPRISES							version : 20-nov.-20
<b>ENTRETIEN</b>			<b>Métiers / compétences des personnes</b>				<b>23</b>
<b>N°</b>	<b>Abreviation</b>	<b>ABREVIATION</b>					
18					Double formation architecte		
			Architecte	Urbaniste	Ingénieur environnement	ingénieur-architecte	Programmist
<b>totaux</b>			<b>7</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
			<b>30%</b>	<b>35%</b>	<b>8</b>		<b>35%</b>
1	ENT1	URB1		1			
		URB2		1			
2	ENT2	URB3		1			
3	ENT3	INGE1			1		
4	ENT4	ARCHI1	1				
5	ENT5	URB4		1			
6	ENT6	INGE2	architecte		1	1	
7	ENT7	INGE3	architecte		1	1	
8	ENT8	ARCHI2	1				
9	ENT9	INGE4	architecte		1	1	
10	ENT10	URB5		1			
11	ENT11.1	INGE5			1	1	
	ENT11.2	INGE6			1		
12	ENT12	PROG1					1
13	ENT13	ARCHI3	1				
14	ENT14	URB6		1			
15	ENT15	URB7		1			
15		URB8		1			
16	ENT16	ARCHI4	1				
17	ENT17	ARCHI5	1				
		ARCHI6	1		formation Ingénieur ENPC	1	
		ARCHI7	1		Bim		
18	ENT18	INGE7	architecte		1	1	

Figure 1 : Tableau comparatif des compétences des acteurs interviewés – source : Efficacity / P. Villien

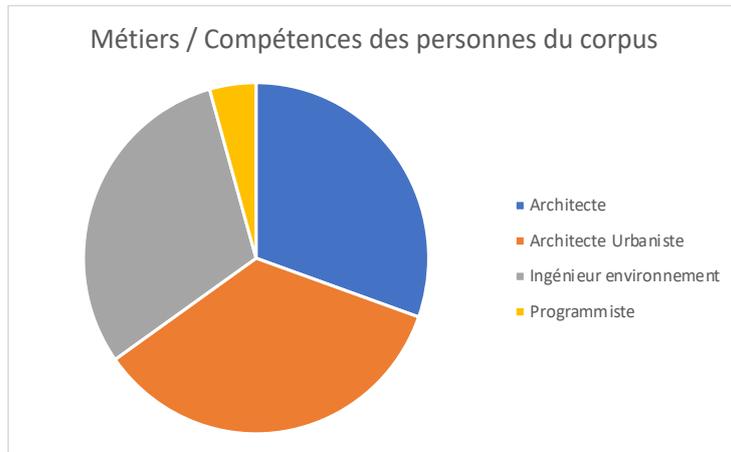


Figure 2 : Répartitions des métiers et compétences des personnes du corpus d'étude – source : Efficacity / ISA

CORPUS D'ÉTUDES PAR METIERS / COMPÉTENCES ET STRUCTURES / ENI				version : 20-nov.-20				
ENTRETIEN			STRUCTURES / ENTREPRISES					19
N°	Abreviation	ABREVIATION						
18								
totaux			5	6	7	1		
			11	8				
			58%	42%				
1	ENT1	URB1		1				
		URB2						
2	ENT2	URB3		1				
3	ENT3	INGE1			1			
4	ENT4	ARCHI1	1					
5	ENT5	URB4		1				
6	ENT6	INGE2			1			
7	ENT7	INGE3			1			
8	ENT8	ARCHI2	1					
9	ENT9	INGE4			1			
10	ENT10	URB5		1				
11	ENT11.1	INGE5			1			
	ENT11.2	INGE6			1			
12	ENT12	PROG1				1		
13	ENT13	ARCHI3	1					
14	ENT14	URB6		1				
15	ENT15	URB7		1				
15		URB8						
16	ENT16	ARCHI4	1					
17	ENT17	ARCHI5	1					
		ARCHI6						
		ARCHI7						
18	ENT18	INGE7			1			

Figure 3 : Tableau comparatif des métiers des interviewés – source : Efficacity / ISA

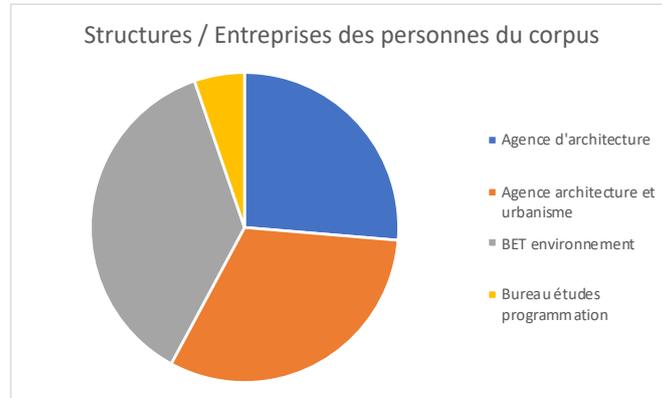


Figure 4 : Structures et entreprises des personnes du corpus d'étude – source : Efficacity – ISA

Le corpus présente un équilibre des métiers par tiers selon les clivages suivants :

- Agences d'architecture (5)
- Agences architecture et urbanisme (6)
- BET environnement (7)

Les métiers concernés par les entretiens sont donc ceux des architectes, des urbanistes, des ingénieurs environnementaux et dans une moindre mesure celui des programmistes.

Le choix des agences d'architecture repose sur le fait qu'une agence qui ne fait que de la maîtrise d'œuvre a une forte cohérence de ses outils numériques, centrée plus ou moins sur la mise en place du BIM et parfois sur les outils paramétriques de la conception de la forme.

Le choix des agences d'architecture et d'urbanisme repose sur l'hypothèse que les outils numériques y sont pluriels et nombreux, plutôt spécialisés selon les échelles de conception.

De plus, le choix d'une agence de programmation répond à l'interrogation sur les modalités d'incorporation des questions environnementales en amont des opérations.

Les métiers bénéficient en leur sein d'acteurs qui sont pionniers dans leur domaine professionnel, nous pouvons les qualifier de « passeurs », ou de « transitionneurs ».

Ainsi, dans notre corpus, une double culture, celle de l'architecte et de l'ingénieur, est fortement présente. La présence de 6 personnes interviewées sur 25, soit 24 % du corpus, ayant une double formation architecte et ingénieur est significative.

Cette dualité culturelle et de formation est de plus caractérisée par des profils de formation passant par des cours ou des diplômes dispensés par l'ENPC – ceci pour 5 des interviewés.

## 1,2 - Référentiels sur les compétences mobilisées par le corpus d'étude

L'apprentissage des outils numériques de l'écoconception est long et complexe. Il demande un niveau d'entrée avec des compétences initiales fortes. La présente recherche s'intéresse aux recours à ces savoir-faire numériques par les acteurs professionnels de la conception architecturale et urbaine, aussi est-il utile de rappeler brièvement quel est le socle de connaissances et de compétences préalables qui est dispensé dans les formations des métiers analysés.

Ce socle de connaissances des outils numériques doit venir consolider l'éveil à la question écologique pour que ces deux domaines puissent fonctionner de pair sans se cloisonner.

### 1,23 - Pour les architectes

Il existe un référentiel de compétences numériques pour la formation des architectes, du ministère de la Culture à destination des étudiants des écoles d'architecture, les vingt ENSA. Ce référentiel a été élaboré en 2017 par la Direction des Enseignements<sup>1</sup>. Les écoles commencent à intégrer les formations BIM aux parcours éducatifs. La perception des outils paramétriques évolue ; d'abord vus comme des outils pour la modélisation de l'enveloppe ou de la structure, ils sont aujourd'hui appréhendés comme des outils d'aide à la conception énergétique et environnementale. Par exemple, à l'ENSAPB, la deuxième année comprend un cours de modélisation sur Revit où l'isolation est prise en compte afin d'étudier la thermique du bâtiment.

Le niveau de formation sur les sujets environnementaux est limité comparativement aux grandes écoles anglo-saxonnes. Un verrou important est le cloisonnement entre le milieu académique et le milieu professionnel en France. Dans les pays anglo-saxons, ces milieux sont plus perméables et s'émulent. Notamment, des architectes comme Jean Nouvel ou les dirigeants de l'agence Lacaton Vassal n'ont jamais enseigné en France, mais en Suisse ou aux États-Unis. ARCHI4 a par exemple enseigné en Suisse, en Angleterre, au Danemark, aux États-Unis et témoigne d'un réel décalage entre les systèmes français et anglo-saxon.

Il existe beaucoup de formations de spécialisation pour l'écologie qui se manifestent sous forme de post-master. Elles sont donc en dehors du parcours classique de formation de l'architecte.

---

<sup>1</sup> **Ministère de la Culture 2018**, *Référentiel des enseignements liés au numérique dans les ENSA* – Ministère de la Culture, 2018.

L'étude du Shift Project sur les écoles de l'enseignement supérieur de mars 2019 fait remarquer que « *seulement 11 % des formations qui abordent actuellement les enjeux climat-énergie de manière obligatoire*<sup>2</sup> ».

### 1,24 - Pour les urbanistes

Comme pour les écoles d'architecture, la question écologique est souvent traitée comme une spécialisation post-master en école d'urbanisme. À l'EUP Cité Descartes, un enseignement sur les SIG est dispensé dès le master.

Il existe aujourd'hui des formations pour la décroissance carbone dans les écoles d'urbanisme françaises comme le post-master « Architecture post-carbone » à l'École d'architecture de la ville et des territoires de Marne-la-Vallée<sup>3</sup>.

### 1,25 - Pour les ingénieurs environnementaux

La formation des ingénieurs environnementaux est très hétéroclite du fait que les formations « environnementales » ne sont apparues que tardivement dans les écoles d'ingénieurs ; elles étaient dispensées par quelques rares cours dans une formation complète. Cela peut être par exemple des ingénieurs de la filière du bois, ou ceux qui travaillent sur les matériaux bio-sourcés, des ingénieurs ENSE3.

Il existe maintenant des formations complètes d'ingénieurs thermiciens et environnementaux. Une nouvelle ingénierie se développe, avec un relatif désintérêt pour les filières classiques des « grands constructeurs » et un engouement pour les problématiques environnementales, ainsi que celles de l'aménagement territorial et urbain, et également pour l'architecture.

Les doubles formations ingénieur-architecte sont principalement celles des ingénieurs qui proviennent de la spécialité structure mais aussi environnementale. Ils ont une culture plus orientée vers les logiciels et ont tendance à avoir une plus grande familiarité avec la conception assistée par le numérique. Ce sont des profils intellectuels enclins à l'utilisation des logiciels paramétriques.

### 1,25 - Pour les programmistes

Les formations des programmistes en exercice dans les bureaux d'études de programmation sont très diverses. On constate à dire d'expert et par la fréquentation de ces entreprises la présence de nombreux architectes, d'ingénieurs et de quelques urbanistes. Les formations dédiées à la programmation architecturale et urbaine sont peu

---

<sup>2</sup> **Shift Project 2019**, MOBILISER L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR POUR LE CLIMAT FORMER LES ÉTUDIANTS POUR DÉCARBONER LA SOCIÉTÉ, 102 pages, Téléchargeable : [https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/2019-03-25\\_Rapport\\_Mobiliser-l'enseignement-sup%C3%A9rieur-pour-le-climat\\_The-Shift-Project.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/2019-03-25_Rapport_Mobiliser-l'enseignement-sup%C3%A9rieur-pour-le-climat_The-Shift-Project.pdf)

<sup>3</sup> Pour une présentation de la formation « PoCa Post-Carbone » : <https://paris-est.archi.fr/formations/post-master/dpea-post-carbone>, consulté le 25 novembre 2020.

nombreuses dans l'enseignement supérieur. Ces parcours formatifs intègrent parfois l'utilisation de la technologie numérique des SIG et celle du traitement de données.

### **1,3 – Comparatif par familles d'outils numériques d'écoconception**

Nous avons élaboré à partir des entretiens une sorte d'état des lieux des pratiques des outils numériques dans ces agences et bureaux d'études.

Nous nous intéressons particulièrement à l'identification et à la comparaison des usages des outils numériques liés à l'écoconception selon les différents acteurs. Ces outils numériques utilisés dans les entreprises du corpus sont nombreux et variés.

Nous les avons regroupés en trois grandes familles : les outils liés au BIM, ceux de la sphère paramétrique (celle autour de Grasshopper pour Rhinocéros et Dynamo pour Revit) et les logiciels de calculs dédiés à la thermique et à la structure.

#### **Comparatif du degré de pénétration des différentes familles d'outils dans les structures où travaillent les interviewés**

Nous avons établi une évaluation comparative à partir d'un score variant de 0 à 3 par structure interviewée.

Le score 0 correspond à une absence complète, ou quasi complète de pratique de ces outils numériques.

Le score 1 correspond à une pratique irrégulière dans le temps.

Le score 3 correspond à une pratique régulière dans le temps.

N : Pas de score 2 afin de trancher les résultats.

Le comparatif général tous acteurs confondus est le suivant.

ENTRETIEN N°		ABREVIATION	OUTILS			99 sur	171
18			BIM	PARAMETRIQUE - GRASSHOPPER	STD - THERMIQUE / calculs structure	Tous outils	
Tous métiers			40	31	28	99	
			74%	45%	49%	58%	
1	URBA1		0	0	0	0	
	URBA2						
2	URB5		0	0	0	0	
3	INGE1		0	1	3	4	
4	ARCHI1		3	3	1	7	
5	URB6		0	0	0	0	
6	INGE2		3	3	3	9	
7	INGE3		3	1	3	7	
8	ARCHI2		3	1	0	4	
9	INGE4		3	3	3	9	
10	URB7		3	0	0	3	
11	INGE5		3	3	3	9	
	INGE6		3	3	3	9	
12	PROG1		0	0	0	0	
13	ARCHI3		3	3	1	7	
14	URB8		3	3	1	7	
15	URB9		3	0	0	3	
15	URB10						
16	ARCHI4		1	3	3	7	
17	ARCHI5						
	ARCHI6		3	1	1	5	
	ARCHI7						
18	INGE7		3	3	3	9	

Figure 5 : Comparatif détaillé sur l'usage des familles d'outils numériques dans les entreprises du corpus.  
source : Efficacity - P. Villien

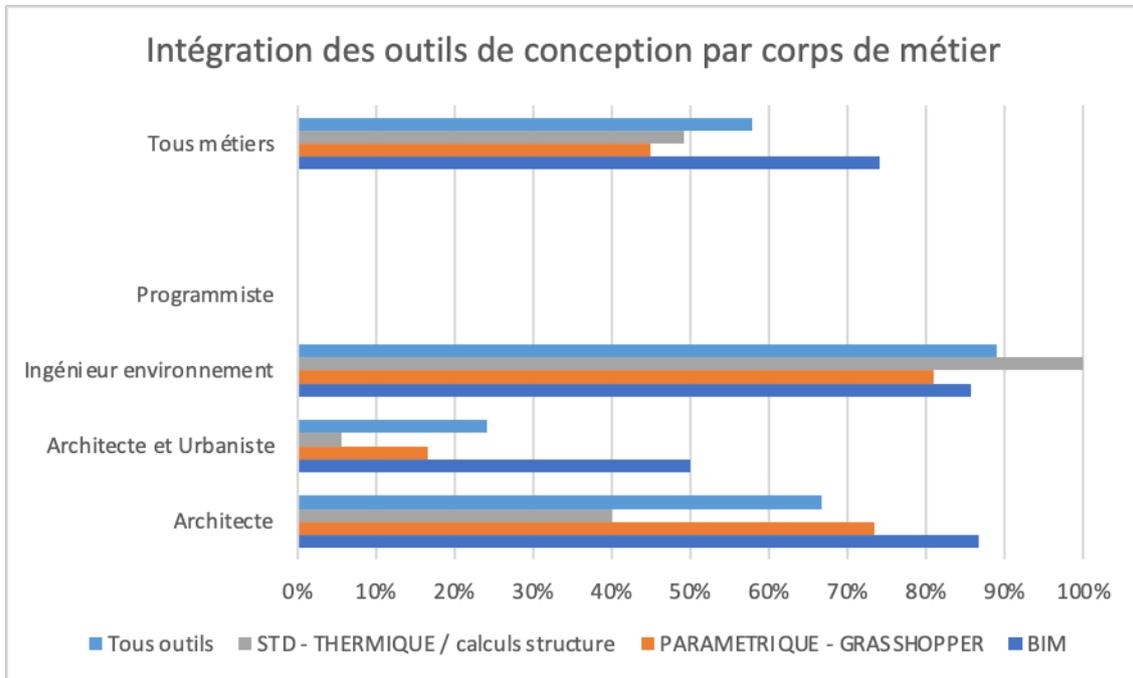


Figure 6 : Intégration des outils de conception numérique par corps de métier - source : ISA

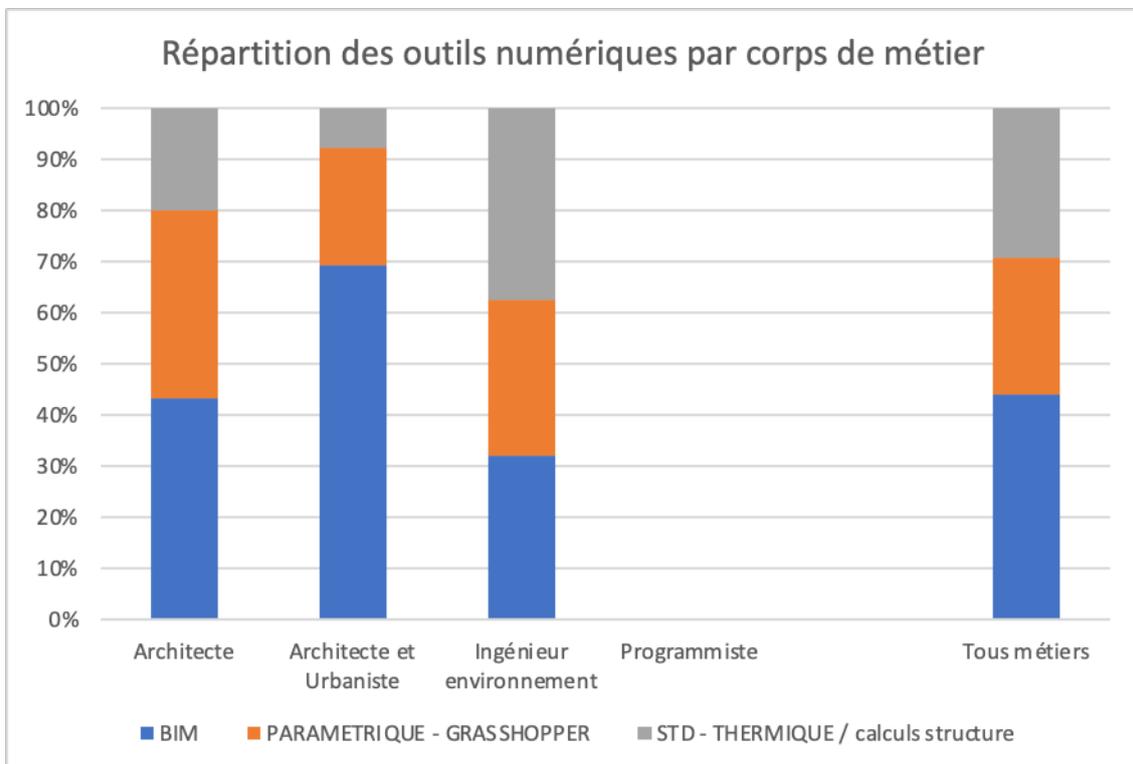


Figure 7 : Répartition de l'utilisation des outils de conception numérique par corps de métier - source : ISA

### Commentaires sur les résultats du comparatif

La pénétration de la technologie BIM est bien avancée dans notre corpus (74 %), notablement plus que dans la profession d'architecte par exemple. Dans la dernière enquête du Conseil National de l'Ordre des Architectes (CNOA) de 2018, le terme « BIM » n'est pas mentionné. D'après une étude conduite en 2020, 29 % des agences sont au niveau 1 d'intégration des outils du BIM, et 12 % sont au niveau 2. Le niveau 1 correspondant à l'utilisation d'un logiciel BIM, le niveau 2 correspond à la transmission et l'échange externes de données BIM.<sup>4</sup>

Une proportion plus importante qu'attendue de pratique régulière du paramétrique a été révélée par le corpus de ces entretiens (taux de 44 %). Cela est dû à la composition du corpus, de taille limitée, et à la sur-représentation de pionniers de l'écoconception numérique.

Le maniement des logiciels dédiés à la thermique est, sans véritable surprise, bien présent chez les BET du corpus, mais certains bureaux d'architecture les pratiquent également de manière irrégulière.

---

<sup>4</sup> **Hochscheid Halin 2020** : Elodie Hochscheid, Gilles Halin, *Baromètre BIM : une enquête sur l'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France*, Conference SCAN'20 Séminaire de Conception Architecturale Numérique, novembre 2020, consultable : <https://www.researchgate.net/publication/342039492> *Barometre BIM une enquete sur l'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France*

## 2 - Les hypothèses initiales

Nous avons généré au fil des entretiens un matériel textuel très riche et déroutant par son contenu. Beaucoup d'attendus ne se sont pas confirmés et de nombreuses assertions des interviewés ont ouvert des pans entiers de réflexion sur des sujets habituellement réservés aux débats professionnels internes aux structures.

Ces entretiens rassemblent dans un flot dense et continu des réponses et des réflexions très pragmatiques avec des énoncés réflexifs. L'engagement des acteurs pour les enjeux environnementaux est très audible ; il est cependant marqué plus fortement pour certains acteurs du corpus.

### 2,1 – Une intégration différenciée de l'écoconception

L'écoconception est une notion aujourd'hui connue et fortement acceptée, mais elle est inégalement mise en œuvre dans les agences. Cela peut provenir de la culture du métier, des méthodologies employées, ou encore de la formation suivie.

Certains acteurs du corpus sont plus conscients des enjeux et plus impliqués dans l'écoconception, selon les phases de la production des études sur lesquelles ils travaillent et selon les responsabilités assumées par chacun.

Certains profils professionnels hybrides ont des prédispositions à la transversalité qui fluidifie l'écoconception. Une double culture, celle de l'architecte-ingénieur, est fortement présente. Il est notable que 6 personnes interviewées sur 25 – soit 24 % du corpus – aient une double formation architecte et ingénieur. Cette présence forte est détaillée par des personnes ayant suivi des cours ou étant diplômées de l'ENPC par exemple.

L'écoconception représente une culture issue d'une histoire, c'est un révélateur de la connaissance de l'histoire de la discipline selon URB3.

La culture de l'ingénieur est très intéressante sur l'objectivation selon INGE3.

### 2,2 – Des clivages professionnels et institutionnels très présents

Les usages des outils numériques reflètent des clivages bien documentés dans les pratiques professionnelles de la conception architecturales et urbaines :

- entre les architectes et les ingénieurs,
- entre les architectes et les urbanistes,
- entre les programmistes et tous les autres acteurs.

Nous pouvons également retrouver des polarités au sein d'une même structure, quand chaque personne est cantonnée dans son rôle, comme nous pouvons en retrouver entre les différentes institutions, qu'elles soient académiques ou politiques.

### 2,3 – Les outils numériques : un usage contrasté

Les outils numériques d'aide à la conception courants tels que Autocad ou Illustrator sont généralement bien intégrés dans les agences, de même que les logiciels de STD dans les bureaux d'études. Les logiciels spécifiques à l'écoconception sont eux beaucoup moins adoptés dans les phases d'élaboration d'un projet, ou bien, quand ils sont utilisés, ils le sont trop tard, en aval de la conception, car souvent assimilés à des outils de STD.

Nous verrons plus bas comment le BIM et les outils paramétriques peuvent jouer un rôle – ou non – dans l'écoconception. Notamment en introduisant les notions de « scénarisation » et de « validation » :

La **scénarisation** des études de conception est un processus intervenant en **amont** de cette phase. Elle consiste en la formulation d'hypothèses de modélisation comme l'ensoleillement, la circulation de l'air, la morphologie de quartier, la programmation des usages, etc. C'est une étape d'aide à la conception pour les étapes de faisabilité ou d'esquisse.

La **validation** des études de conception est un processus intervenant en **aval** comme une étape de validation d'hypothèses ou de critères. Ce processus vise à analyser et vérifier si les performances énergétiques, écologiques du bâtiment atteignent les niveaux requis. Ces études interviennent en généralement en phase PRO.

Les outils paramétriques et le BIM seraient utiles et pertinents dans de nombreux cas de conception, tant architecturale qu'urbaine.

Par hypothèse initiale, les cas d'application des outils paramétriques semblent nombreux. Ainsi l'optimisation des éléments programmés et des ressources pourrait être abordée de manière paramétrique par les concepteurs. Les horizons d'application semblent à ce stade toujours nombreux. Il s'agirait par exemple d'utiliser le moins possible de matière première – objectif de frugalité, de réponse aux contraintes de la lumière naturelle, selon des critères et des séquences énoncés à l'avance par les contraintes programmatiques. Le BIM quant à lui pourrait être utilisé pour un suivi d'utilisation des matériaux, pour dresser un inventaire au niveau bâtiment – même urbain – afin de mener des analyses quantitatives. Il a aussi un intérêt dans le suivi en exploitation, pour témoigner du cycle de vie des matériaux.

Et pourtant la faiblesse des développements actuels de la pratique des outils numériques révèle nettement une situation de verrous. De quelle nature sont ces verrous : culturelle, matérielle, méthodologique ?

### 3 - Résumé du recueil des entretiens

#### 3,1 - Élaboration des entretiens restitués : un processus pluridisciplinaire et de décantation

##### 3,11 – Déroulé de la mission « entretiens d'acteurs et d'experts »

La réalisation des entretiens et leurs analyses ont été séquencées par étapes, qui se sont déroulées de novembre 2017 à juin 2018.

Nous avons dégagé sept jalons méthodologiques donnant lieu à la « décantation » de quatre stades d'entretiens : « **oraux** », « **bruts** », « **consolidés** » et enfin « **restitués** ».

- 1 : Préparation des « entretiens **oraux** ».
- 2 : Réalisation des « entretiens **oraux** ».
- 3 : Rédaction d'une **note synthétique provisoire** suite aux « entretiens oraux ».
- 4 : Transcriptions complètes des enregistrements produisant les « entretiens **bruts** ».
- 5 : Rédaction des « entretiens **consolidés** ».
- 6 : Validation par les acteurs produisant des « entretiens **restitués** ».
- 7 : « L'entretien restitué », validé et diffusable en interne à Efficacity.
- 8 : La question de la **pseudonymisation** du rapport de recherche.

##### *1<sup>ère</sup> étape : préparation des entretiens oraux*

Cette étape a consisté dans la préparation des protocoles d'interview et dans le profilage et le choix des interviewés.

##### *2<sup>ème</sup> étape : réalisation des « entretiens oraux »*

Il s'agit de la réalisation des entretiens oraux, enregistrés pendant environ 45 minutes à une heure.

Un tableau de bord a récapitulé au fur et à mesure les contacts, les réponses et l'acceptation formelle d'un entretien. Le corpus des entretiens a peu évolué au fil des rencontres et des suggestions des interviewés. Afin de pallier les refus de certains acteurs, de nouveaux.elles interviewé.e.s ont été intégré.e.s dans le corpus au fur et à mesure.

##### *3<sup>ème</sup> étape : rédaction d'une note synthétique provisoire suite aux « entretiens oraux »*

À la suite de chaque entretien, une rédaction de synthèse a été faite « à chaud », en opérant une double approche. Les thématiques singulières ou « typifiantes » de l'acteur ou de l'agence ont tout d'abord été repérées. Des pistes de réflexion sont évoquées sur les

perspectives éventuelles de l'agence interviewée en matière de recherche et développement, tout particulièrement sur des sujets de l'écoconception numériques.

Ces premières rédactions provisoires ont été reprises et développées dans le présent rapport. À l'occasion de ces premières approches, les thématiques d'analyses se sont affinées et elles n'ont pas été figées, ceci permettant de minimiser les aprioris. Il s'agissait de laisser advenir tout à la fois les confirmations des hypothèses de départ et souvent des résultats contre-intuitifs.

#### *4<sup>ème</sup> étape : transcriptions complètes des enregistrements produisant les « entretiens bruts »*

Afin d'analyser finement l'articulation des raisonnements, des argumentaires des acteurs et afin de fonder en profondeur les thématiques, nous avons transcrit chaque entretien, de sa matière orale (enregistrement systématique des interviews) à un texte brut. Ce stade est dit celui des « entretiens bruts ». Cette version intermédiaire reste interne au chercheur pour des raisons de respect de la confidentialité demandée par les interviewé.e.s.

Nous avons opéré cette transcription écrite complète et littérale car nous souhaitons recueillir les découvertes et les finesses qui apparaissent lors des entretiens oraux.

Cette première forme textuelle, dite « entretien brut », aboutit à un texte qui n'est pas diffusable tel quel à l'acteur.trice interviewé.e.

### **Pourquoi transcrire intégralement une telle masse d'entretiens ?**

Nous nous sommes engagés dans ce travail très chronophage de transcription intégrale des entretiens car la production de cette matière première nous semble la condition d'une analyse fine des données recueillies. L'ample matériel ainsi constitué peut servir de base référencée pour les conclusions de ce rapport.

Ce recueil de données pourrait par ailleurs être très fécond à l'avenir dans d'autres perspectives de recherche. L'ampleur prise par ces transcriptions – plusieurs centaines de pages – permettra des usages ultérieurs, à des fins d'analyse et de recherche que nous espérons multiples. Les acteurs interviewés livrent dans ces entretiens de nombreuses réponses. Ces points de vue et ces analyses sont difficiles d'accès dans la littérature habituelle que constitue la presse professionnelle.

Nous espérons ainsi que ce travail patient puisse avoir un intérêt qui excède la présente recherche, comme une sorte de témoignage de la fin des années 2010, de là où en étaient les personnes de référence dans leurs métiers réciproques sur les outils numériques de l'écoconception.

#### *5<sup>ème</sup> étape : rédaction des « entretiens consolidés »*

Plusieurs étapes minutieuses sont nécessaires pour passer des « entretiens bruts » précédents aux « entretiens consolidés ».

Nous avons produit à partir des transcriptions brutes un texte dit « consolidé ». Ce « lissage écrit » remet dans une forme « semi-orale » la matière recueillie. Ce nouveau texte est dit « consolidé » car notamment il opère des réécritures ponctuelles et fait la vérification des références citées. L'appareil de notes de bas de page est ainsi introduit à cette étape des entretiens.

*6<sup>ème</sup> étape : validation par les acteurs sur leur « entretien consolidé »*

Puis « l'entretien consolidé » est soumis à l'acteur.trice interviewé.e, afin qu'il ou elle valide son contenu.

L'acteur.trice autorise simultanément une utilisation de son entretien, sous sa forme « consolidée », avec parfois des modifications à intégrer.

Dans un premier temps, cet accord porte sur une diffusion à des fins de recherche, sous la condition expresse d'une non-diffusion au-delà du cercle des chercheurs internes à Efficacity de la recherche xMUSE.

Cette soumission des entretiens consolidés aux interviewé.e.s est l'occasion pour eux d'amender leur discours, de censurer ce qu'ils ne souhaitent pas voir diffuser, même à un cercle restreint de chercheurs.

*7<sup>ème</sup> étape : « l'entretien restitué », validé et diffusable en interne à Efficacity*

« L'entretien consolidé » devient un « entretien restitué » à partir de sa validation par l'interviewé.e sous la forme d'un texte définitif.

*8<sup>ème</sup> étape : pseudonymisation du rapport de recherche*

Afin de permettre une diffusion du rapport de recherche au-delà des chercheurs xMUSE d'Efficacity, il a été procédé à une « pseudonymisation » des données dans le texte du présent rapport, dans les tableaux des résultats et dans l'annexe des « entretiens restitués ». L'ensemble des « entretiens restitués » de l'annexe du présent rapport est donc pseudonymisé.

*« Différences entre anonymisation et pseudonymisation*

La pseudonymisation est un traitement de données personnelles réalisé de manière à ce qu'on ne puisse plus attribuer les données relatives à une personne physique sans avoir recours à des informations supplémentaires. En pratique la pseudonymisation consiste à remplacer les données directement identifiantes (nom, prénom, etc.) d'un jeu de données par des données indirectement identifiantes (alias, numéro dans un classement, etc.).

La pseudonymisation permet ainsi de traiter les données d'individus sans pouvoir identifier ceux-ci de façon directe. En pratique, il est toutefois bien souvent possible de retrouver l'identité de ceux-ci grâce à

des données tierces. C'est pourquoi des données pseudonymisées demeurent des données personnelles. L'opération de pseudonymisation est réversible, contrairement à l'anonymisation<sup>5</sup>. »

Il a été effectué une « pseudonymisation » des transcriptions des entretiens. Mais les interviewés citent très souvent leurs propres travaux et réalisations, ce qui rend délicat le masquage efficace de leur identité.

### 3,12 – Conséquence de la pseudonymisation des entretiens en annexe

La diffusion de l'annexe au présent rapport est donc à ce stade réalisable au-delà du cercle des chercheurs du programme xMUSE et des responsables d'Efficacity. En particulier, les membres et partenaires d'Efficacity pourront avoir accès aux entretiens restitués pseudonymisés.

## 3,2 - Les parties du protocole d'entretien

Dans ce chapitre est présenté le contenu du protocole d'entretien.

### 3,21 - Synthèse sur le protocole

L'entretien en mode semi-directif est proposé en **trois parties**, correspondant directement à l'articulation des sous-thématiques de recherche :

- l'écoconception environnementale en général, située parmi les pratiques numériques des agences,
- les logiciels et leurs pratiques effectives, avec également leurs obstacles et verrous,
- le travail d'écoconception sur la morphologie des bâtiments, notamment sur les rapports entre les concepteurs architecturaux et urbains et leur ingénierie environnementale.

#### *Première partie : Les changements de pratiques liés à la transition environnementale*

Les questions soulevées par la nécessité d'une transition environnementale transforment les pratiques de l'ingénierie. Cette transition a débuté il y a plusieurs dizaines d'années, mais les exigences se sont depuis démultipliées et touchent toutes les phases de conception et toutes les échelles de projets. Un nouvel engagement et donc de nouvelles prestations sont attendus de la part des ingénieurs, que ce soit lors des missions d'AMO ou de maîtrise d'œuvre. Avec ces nouveaux engagements environnementaux, la place de l'ingénierie dans les projets a changé. L'ingénierie s'inscrit de plus en plus tôt dans le projet, à travers notamment des labellisations environnementales. Des documents de simulation et d'évaluation des performances environnementales et énergétiques sont exigés dès l'élaboration des dossiers de programmation. En phases de programmation, de

---

<sup>5</sup> CNIL 2019, *L'anonymisation des données, un traitement clé pour l'open data*, consultable : <https://www.cnil.fr/fr/lanonymisation-des-donnees-un-traitement-cle-pour-lopen-data> - consulté le 15 février 2020.

conception et d'exécution, la conception et le suivi des performances environnementales nécessitent de nouvelles formes de collaboration en lien avec les nouveaux outils numériques.

#### *Deuxième partie : Les outils numériques de simulation et de modélisation*

Il est proposé aujourd'hui un large panel d'outils d'aide à l'écoconception (Vasari, Ecotect, Archiwizard, Insight 360, Formit, ou encore les plug-ins d'analyse énergétique et environnementale du logiciel Grasshopper ou du logiciel Dynamo sur Revit, comme Lady Bug). Par ailleurs, la collaboration entre partenaires est intensifiée au travers du BIM. Ces outils numériques permettent à l'ingénierie de mieux intégrer les questions énergétiques et environnementales, et ceci dès les premières phases du projet.

#### *Troisième et dernière partie*

Une dernière partie interroge sur la morphologie et les questions de la disposition des usages dans un îlot performant, et vraiment sur cette question précise : « Comment l'ingénieur peut intervenir et réinterroger la morphologie avec son architecte ».

La conception environnementale de l'enveloppe est un sujet en plein développement. La forme architecturale (la densité, les proportions, la disposition des bâtiments dans leur contexte urbain) et la disposition des usages (organisation spatiale du programme) ont un rôle important dans l'optimisation environnementale. L'émergence de la conception bioclimatique a permis d'attirer davantage l'attention des ingénieurs et architectes sur les éléments de la forme et de l'enveloppe du bâtiment (compacité, taux de surface vitrée).

### **3,22 - Présentation du protocole envoyé préalablement à l'entretien oral**

Ci-dessous est présenté le document diffusé préalablement à l'entretien oral.

« **Personne et adresse. Date entretien : xx décembre xxxx à xxh00** »

« **Nous vous remercions d'avoir accepté de nous rencontrer afin de procéder à un entretien dans le cadre de notre recherche « Quartier à Haute Performance, lot configuration d'îlot », sur les outils numériques associés.**

**Nous vous transmettons ci-après le cadre et les modalités de l'entretien. Vous trouverez également les réflexions et les questions qui pourraient être à la base de notre interview.**

**En vous remerciant, veuillez recevoir nos amicales salutations.**

**Signature : Philippe VILLIEN Architecte urbaniste / enseignant ENSAPB / chercheur à Efficacity et à l'Ipraus UMR Ausser Claire Duclos-Prévet Architecte / responsable projet « Configuration d'îlot » à Efficacity**

2 - Cadre général de l'entretien .....	33
2,1 - Cadre et modalités pratiques de l'entretien .....	33
2,2 - Les grandes hypothèses .....	34
3 - Méthode d'entretien et grille des questions .....	35
Début de l'entretien .....	35
Partie 1 de l'entretien : Les changements de pratiques liés à la transition environnementale	35
Partie 2 Les outils numériques de simulation et de modélisation .....	35
Partie 3 : Interroger la forme urbaine et la disposition des usages en plus de la physique du bâtiment	36

**1 - Entretien avec (xxxxxxx personne, titre et structure) avec une expertise en diagnostics et simulations environnementales pour la conception des projets architecturaux (adapter à chaque acteur)**

### 3,23 - Cadre général de l'entretien

#### Explication préalable aux interviewés du cadre et des modalités pratiques de l'entretien

Une explication préalable est envoyée à l'acteur.trice.

Exemple : « Nous sommes en train d'effectuer une recherche au laboratoire R et D EFFICACITY en partenariat avec l'IPRAUS / UMR AUSser. Cette recherche porte sur les Quartiers à Haute Performance, et tout particulièrement sur les configurations d'îlot. Dans ce cadre nous procédons à une série d'entretiens de grands professionnels du monde de l'ingénierie environnementale.

Vous serez interviewée en tant qu'experte dans votre bureau d'études, avec votre vision stratégique et votre savoir opératoire sur la conception durable. Il s'agit notamment de préciser les conditions d'usage du numérique dans la conception environnementale.

Afin de préparer notre entretien le présent document récapitule les attendus et les questions qui pourront être supports de notre rencontre. L'entretien est enregistré si vous en êtes d'accord. Une transcription sera effectuée et vous sera soumise avant toute diffusion. Cet entretien a uniquement pour valorisation le cadre restreint de notre recherche. La grille des questions vous est transmise au préalable. En cas de diffusion d'une transcription ultérieure, nous vous demanderons votre accord préalable.

La durée prévisible de l'entretien est d'environ trois quarts d'heure à une heure. »

#### Les grandes hypothèses

« Pourquoi ces entretiens ?

Ces entretiens sont menés auprès de grands professionnels de la conception et de la programmation de projets urbains, des architectes, des urbanistes, des ingénieurs et des maîtres d'ouvrage. Plus particulièrement, vous avez une vision et des expériences diversifiées de l'aménagement durable. Cet entretien est cependant cadré pour une valorisation dans le prisme de notre recherche sur les outils numériques.

Il est certainement très utile que vous ayez une idée générale de la problématique dans laquelle s'insère votre entretien. Pour présenter brièvement notre projet de recherche : nous avons deux hypothèses.

La **première hypothèse** interroge l'adéquation entre les contraintes environnementales et les contraintes urbaines et architecturales structurant les projets (usages et fonctionnement). Des méthodes et des objets conçus par l'ingénierie en lien avec la transition environnementale. Des questions environnementales s'inscrivent dans les pratiques actuelles de la conception et de la programmation urbaine. Le but étant de mettre en évidence le degré d'intégration de l'écoconception dans les pratiques de l'entreprise.

La **deuxième hypothèse** porte sur les outils numériques pour la modélisation et l'évaluation environnementales, sur les partages interprofessionnels et interinstitutionnels. Avec cette hypothèse, nous cherchons à mettre en valeur les différents niveaux de clivages qui empêchent le bon déroulement de l'écoconception, d'en cibler les causes et les conséquences.

La **troisième hypothèse** porte sur la capacité des outils numériques à assister les concepteurs et les ingénieurs dans leurs méthodes et leurs rendus lors des phases amont de programmation et de conception. Certains professionnels de l'urbanisme utilisent ces outils de simulation et de modélisation, qui sont utilisés à l'échelle urbaine et métropolitaine. À l'échelle de l'îlot, les outils numériques sont moins présents. La question de la pertinence des solutions numériques proposées à cette échelle se pose donc.

Dans ce questionnaire, nous entendons par "missions de maîtrise d'œuvre" essentiellement les phases allant du concours à l'avant-projet détaillé. Et pour les missions d'AMO, nous nous intéressons particulièrement aux études de faisabilité articulées sur la rédaction d'un programme. »

### 3,24 - Grille des questions

*« Voici le déroulé proposé pour notre entretien avec les questions associées. En rouge les questions elles-mêmes. Bien entendu vous êtes tout à fait libre de répondre selon votre propre déroulé aux thématiques proposées. »*

#### Début de l'entretien

*« En ce début d'entretien : pouvez-vous rappeler votre structure, vos fonctions, votre rôle, en quelques mots. »*

« La grille des questions qui suivent a un déroulement en 3 parties thématiques :

- **Partie 1 : Les changements de pratiques liés à la transition environnementale**

- **Partie 2 : Les outils numériques de simulation et de modélisation**

- **Partie 3 : Interroger la forme urbaine et la disposition des usages dans les bâtiments**

**Partie 1 : Les changements de pratiques liés à la transition environnementale**

**À propos des missions d'AMO :**

*Vous arrive-t-il de répondre à des missions d'AMO incorporant des exigences environnementales ? Sur quel type de projet ? En quoi consistent ces missions ?*

*Pour l'élaboration d'un programme, comment les performances environnementales sont-elles intégrées en préprogramme, en étude de faisabilité, et lors de la rédaction du programme détaillé ?*

*Comment ces missions se formalisent-elles ? En quoi cet exercice se distingue-t-il des missions de maîtrise d'œuvre, sur le plan technique, en termes de collaboration avec d'autres partenaires ?*

*Plus généralement, comment les contraintes environnementales sont-elles traduites en dispositifs et solutions techniques ?*

**À propos de la prescription environnementale et des missions d'ingénierie**

*Quelles sont les nouvelles exigences liées à l'évolution du métier d'ingénieur, et plus particulièrement celles de l'ingénieur thermicien ?*

*Comment ces nouvelles exigences transforment-elles la pratique de votre métier ?*

*Quels sont vos nouveaux interlocuteurs liés à la transition environnementale ? Quelles sont leurs missions et leurs attentes ? Comment échangez-vous avec eux ?*

**Partie 2 : Les outils numériques de simulation et de modélisation**

*Quels sont aujourd'hui les outils numériques que vous intégrez à vos pratiques ? Et depuis combien de temps les utilisez-vous ?*

*Sont-ils sensiblement les mêmes pour répondre à des missions d'AMO et pour des missions de maîtrise d'œuvre ? Qu'est-ce qui justifie votre choix ou votre non-choix d'utiliser certains outils numériques ?*

*Êtes-vous familier des logiciels BIM ? Si oui, comment les utilisez-vous (quand, sur quel type de projet) ?*

*Êtes-vous familier des logiciels de modélisation paramétrique (Grasshopper, Dynamo...) ? Si oui, comment les utilisez-vous (quand, sur quel type de projet) ? Si non, pourquoi ?*

*Avec ces outils numériques, la collaboration avec les autres partenaires du projet est-elle facilitée ? L'usage d'outils numériques innovants est-il un avantage distinctif lors de l'élaboration du projet architectural ?*

*Ces outils d'assistance à la conception environnementale vous permettent-ils, ou permettraient-ils de répondre aux attentes du maître d'ouvrage en phase amont d'une opération ? D'explorer rapidement des variantes de scénarios ?*

*Quelle est la plus-value de ces outils sur les plans :*

- a) OPÉRATOIRE : exploration de variantes sur des scénarios : usages, bioclimatiques...*
- b) ÉCONOMIQUE : rapidité d'exécution et aide à la prévision des coûts,*
- c) COLLABORATIF : partage de l'information entre les différents acteurs,*
- d) COMMUNICATION : interne et à l'extérieur.*

### **Partie 3 : Interroger la forme architecturale et la disposition des usages en plus de la physique du bâtiment** **À propos des missions d'AMO :**

*Dans le cadre de missions d'AMO, vous arrive-t-il d'interroger les prescriptions sur la forme urbaine ? Si oui, comment ces expertises s'interfaçent-elles avec celles des autres experts (urbanistes, architectes, paysagistes) ?*

*Lors d'études de faisabilité en phase programmation, le programme n'a pas toujours une formalisation géométrique (ou alors une formalisation schématique), comment procédez-vous pour pallier cette instabilité des données projet pour faire des estimations, des évaluations ?*

### **À propos des missions de maîtrise d'œuvre :**

*Vous arrive-t-il d'intervenir dès la phase esquisse ? Si oui, cette étape étant une période de "doutes exploratoire" pour les architectes, où la géométrie est encore très mouvante, comment intervenez-vous lors de cette phase d'incertitude ?*

*Dans le cadre de missions d'ingénierie, vous arrive-t-il d'être force de proposition sur le choix de la forme des bâtiments ? Sur quel type de projet ? Et quels sont les critères récurrents qui permettent de justifier votre proposition ?*

*Vous arrive-t-il d'être force de proposition sur la répartition des surfaces du programme dans les bâtiments ? Sur quel type de projet ? Et quels sont les critères récurrents qui permettent de justifier votre proposition ? »*

## 4 - Analyse des résultats vis-à-vis de nos hypothèses

### 4,1 - Méthodologie

#### Grille d'analyse thématique

Les entretiens restitués sont tout d'abord analysés de manière systématique en appliquant une grille thématique, détaillée elle-même de critères :

Économique	Environnemental	Organisationnel	Réglementaire	Social / Institutionnel	Technique
Coût	Énergie et GES	Durabilité	Conformité	Prise de conscience	Conception
Rapport investissement /gain	Préservation des ressources	Management	Incitation	Perception	Information
Marché		Contractuel	Durabilité	Confiance	Exécution et construction
		Expérience		Volonté	
		Infrastructure		Risque	



Figure 8 : Grille d'analyse thématique - source : ISA

Cette grille permet de trier méthodiquement les arguments donnés par les entretenus afin de procéder à une analyse narrative qualitative.

### Démarche narrative qualitative pour l'analyse des grands axes communs

La démarche méthodologique de cette analyse relève d'une approche narrative qualitative. Elle porte sur les critères qui ressortent de l'analyse thématique comme les jeux d'acteurs, ou l'outillage numérique de l'écoconception. Notre méthode d'analyse des résultats portant sur l'outillage numérique est également d'ordre comparatif. Nous repérons essentiellement les récurrences et les convergences.

Notre position réflexive est basée sur une participation complète aux entretiens eux-mêmes. Notre connaissance et notre expérience du projet de recherche lui-même ont

construit les prémices et la préparation des entretiens, de leur protocole, du plus sensible au plus objectif.

Nous examinons notre matière première des entretiens selon une palette d'outils. Ces outils d'analyse sont à ranger le long d'une ligne. Celle-ci échelonne graduellement sur sa longueur les outils et les critères les plus subjectifs et sensibles, en allant vers ceux qui sont les plus objectifs et rationnels.

### Analyse des pratiques spécifiques

Dans cette dernière partie de l'analyse, nous identifions quelques singularités intéressantes qui méritent d'être soulignées. Ces pratiques professionnelles singulières pourraient être généralisées ou présentent un intérêt expérimental.

## 4,2 – Les notes synthétiques des entretiens

### Entretien URB1 et URB2 : architectes urbanistes, cogérants ENT1

#### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier** : architectes urbanistes

**Types d'études** : suivi des opérations, petites études, terrains vierges et terrains urbains denses, élaboration de fiches de lots

**Taille de l'agence** : une dizaine de personnes

#### *Les points marquants de l'entretien*

Approche **transversale et globale** des problématiques environnementales. Ils se décrivent comme pris dans une spirale où ils ne contrôlent rien. Ils travaillent beaucoup l'ancrage dans le site, en mettant l'accent sur la question du tracé et de l'orientation symbolique urbaine, plutôt que l'orientation solaire.

Ils sont plus sensibles à la question de **la pérennité de ce que l'on construit aujourd'hui**, et tâchent d'éviter de refaire les mêmes erreurs que leurs prédécesseurs. Ils disent passer leur temps « à réparer ce qui était à l'envers ». La vision de l'approche environnementale est globale : « Si l'on arrive à faire des bâtiments qui tiennent 100 ans au lieu de 30 (...) le vrai enjeu est d'abord là, sur ce long terme. » Les performances des façades et le débat sur la disposition de l'isolation sont aussi liés à la question de la pérennité (ils prônent l'isolation intérieure pour les incendies).

Les problématiques architecturales et environnementales doivent être pensées simultanément. « La question de la typologie est au centre de notre travail. » ENT1 impose des **prescriptions sur la typologie de logements** et ils savent que l'impact sur les typologies urbaines est important (en termes d'épaisseur du bâti et de morphologie par exemple).

Il existe une **échelle de l'entre-deux** : « Une échelle qui n'est pas à proprement parler du grand aménagement et pas encore tout à fait de l'architecture. »

#### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

ENT1 utilise peu d'outils numériques (principalement Autocad et SketchUp pour faire des héliodons basiques) ; pas de paramétrique, ni de BIM, avec beaucoup de **dessin à la main** et de **maquettes en carton**. Ils calculent leurs abaques solaires à la main.

Ils entretiennent une collaboration avec les ingénieurs traditionnels. Leurs modélisations SketchUp sont transmises à leurs partenaires ingénieuristes pour des études d'ensoleillement (INGE7 en l'occurrence). Ils ne connaissent pas précisément les méthodes de travail de ces BET.

L'agence d'urbaniste est technico-sceptique, car ils ont peur de **l'enfermement normatif** dû aux labels. Même s'ils semblent technico-sceptiques au premier abord, les outils de l'écoconception numérique leur sont utiles pour certains de leurs travaux (études d'ensoleillement, typologies des logements...), ce qui leur redonne une certaine capacité de contrôle.

*Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

Il semble compliqué pour ENT1 d'investir dans de la R&D mais semble intéressée pour suivre l'avancement des recherches sur l'écoconception numérique : invitations à des POC, participation à des CO-TECH de recherche.

## Entretien URB3 : architecte urbaniste, cogérant ENT2

### Profil général

**Catégorie métier** : architectes urbanistes

**Types d'études** : conception urbaine de ZAC, conception et réalisation d'espaces publics, quelques immeubles de logements

**Taille de l'agence** : une dizaine de personnes

### Les points marquants de l'entretien

La question des problématiques environnementales est essentielle mais **ne s'arrête pas à la question de l'énergie**. Cette contrainte est prise en compte dès le début du projet mais de **manière intuitive**, sans calcul. Ce qui est nouveau : le cadre réglementaire, mais la contrainte a toujours existé. Il y a de plus en plus de contraintes réglementaires, pourtant « la RT2012 n'évite pas la médiocrité ».

Il ne semble **pas convaincu par les approches numériques** qui « rajoutent de la complexité » et laissent échapper la réalité. Il accorde peu de valeur aux simulations, pour lui, le « savoir empirique » basé sur des règles expertes a plus de valeur alors qu'il n'entre pas dans le calcul. Les simulations sont imparfaites et dépendent des hypothèses de départ. Il reconnaît que le calcul peut avoir un **intérêt informatif, peut aider à la décision** avec un certain recul mais ne doit pas diriger le projet.

Le véritable apport de l'urbaniste selon lui se concentre sur la qualité d'usage des espaces publics, et la **typologie urbaine, indissociable de la typologie de logements**. Ces choix sont difficiles à défendre, notamment pour des raisons de jeux d'acteurs liés à des enjeux économiques (difficile de sortir du logement mono-orienté avec les promoteurs).

La collaboration avec les ingénieurs reste **complexe**, quelques bureaux d'études sont cependant épargnés. Il faut faire du projet avec les ingénieurs dans une approche collaborative.

### Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?

URB3 utilise peu les outils numériques et affiche une posture « technico-sceptique ». Dans son agence, on ne pratique ni la conception paramétrique (Grasshopper), ni le BIM. Les logiciels utilisés chez ENT2 sont SketchUp (pour la modélisation, pas de plugin de simulation), et un peu Archicad. Il prône le retour du **dessin à la main, et en fait même un critère de recrutement**.

Aujourd'hui, le coût des licences est un véritable frein pour lui, il réserve l'effort financier sur la technologie pour des **exigences de rendu graphique** comme la vidéo, et non pas sur des problématiques de conception.

*Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

Il semble compliqué pour ENT2 d'investir dans de la R&D (nombreuses références au contexte économique compliqué).

Cependant, ENT2 travaille depuis plusieurs années sur de grands projets comme des ZAC (porte d'entrée de liens avec les collectivités...). Ce type d'agence pourrait avoir un fort potentiel de « bêta-testeur ».

## Entretien URB4 : architecte urbaniste, cogérant de ENT5

### *Profilage général*

**Catégorie métier** : architectes urbanistes

**Types d'études** : architecture et urbanisme, maîtrise d'œuvre classique, rédaction de PLU et OAP, urbanisme de la ZAC

**Taille de l'agence** : une dizaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

Les problématiques environnementales plus qu'énergétiques sont au cœur du métier. Ils font de la définition des prescriptions environnementales (rédaction d'un chapitre « bioclimatisme » pour un OAP sans appui de BE). Il n'y a pas de vérification par le calcul, **savoir est empirique et les tests sont faits par la maquette** (3D ou carton).

Les réflexions sur la typologie urbaine sont indissociables des réflexions sur la typologie de logements. Les prescriptions sur la typologie de logements sont essentielles en phase amont pour **assurer un certain niveau de confort**.

Ils travaillent avec les BET en collaboration et concertation. La **collaboration est néanmoins jugée décevante, car amène peu d'innovation**. La contrainte vient du fait que les BET sont imposés par la MOA aux architectes et urbanistes. Ils sont pour la pratique d'un **urbanisme participatif, qui implique la population**.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

Les outils numériques sont utilisés, mais pour interagir avec les futurs habitants, ils **aident à la décision pour les citoyens**. « Les questions écologiques, si elles ne sont pas comprises à l'échelle de l'habitant, on n'y arrivera pas. »

Ils utilisent des outils de conception numériques simples, comme SketchUp, ainsi que les **méthodes SIG**. Il est noté l'absence de BIM ou d'usage du paramétrique bien qu'il n'y ait pas de réticence vis-à-vis du numérique.

Ils ont une grande pratique des variantes de plan-masse avec une approche très empirique qui s'accompagne d'un besoin de faire des **maquettes physiques, pour faire la preuve de la faisabilité** lors d'études sur les réglementations (50 faisabilités pour rassurer les promoteurs lors de la refonte d'un PLU).

### *Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

URB4 est aussi enseignant et chercheur par le biais d'une association qu'il a créée, il pratique la **recherche de fond pour sa propre pratique territoriale**.

## Entretien URBS : architecte urbaniste, ENT10

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier** : architectes urbanistes

**Types d'études** : architecture immeubles logements, urbanisme avec de nombreuses ZAC

**Taille de l'agence** : une cinquantaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

L'agence s'articule autour de plusieurs pôles : notamment les **grands territoires** à l'échelle du SCOT ; **l'urbanisme** à l'échelle de l'écoquartier, le **paysagisme** pour les espaces publics et les voiries ; et **l'architecture** pour l'échelle bâtiment.

L'augmentation de la **technicité** de leur métier les amène à travailler avec des corps de métier **plus pointus**, comme des thermiciens, des biologistes ou encore des spécialistes des transports. Cette technicité prend forme dans les calculs de **mouvements de foule** ou dans les nouvelles normes de sécurité.

Ils accordent une importance particulière à **l'usage** au niveau urbain en impliquant la **société civile** dans la prise de décision.

Ainsi, l'augmentation de la technicité doit être au service de la **qualité d'usage** et de la **résilience urbaine**. Cette technicité se fonde dans la **mixité** actuelle de l'urbanisme : **fonctionnelle** avec les commerces, le travail à proximité ; **sociale** ; **générationnelle** ; et **morphologique** avec des logements individuels, de couple, de famille ou de coloco.

Leur conception de l'écoquartier n'exclut pas la **voiture** en circulation mais en stationnement avec des **parkings en extrémité** et des **tramways** faisant la connexion. En termes d'écoconception, ils sont concernés par la **gestion des eaux grises** qui pourraient être traitées au niveau individuel pour des questions évidentes d'économie, mais déplorent le manque de **cadre légal** et la **pression des lobbys**. Ils prônent l'utilisation des **pompes à chaleur avec stockage à eau** ainsi que l'utilisation de la ventilation naturelle également dans les tours, qui permettrait un gain énorme de place : 1 étage tous les 6 étages avec 3 m entre étages au lieu de 3,60 m.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

Ils sont **prêts à travailler en BIM** à l'échelle urbaine ou du bâtiment mais n'ont pas encore eu l'occasion de le faire. Cela pourrait avoir un véritable intérêt pour leur agence, de la phase APD à la phase PRO. Ils reprochent néanmoins au BIM d'être **coûteux** et **peu flexible** pour des changements significatifs qui nécessitent de longues modifications à prévoir.

Ils souhaiteraient utiliser des **outils de calcul d'aérodynamique** mais n'ont pas les personnes qualifiées et n'en voient pas l'intérêt si le bureau d'études refait les simulations par la suite.

Les architectes et urbanistes sont **volontaires** pour utiliser des logiciels d'ingénierie. Mais la **répartition des tâches** entraîne un **cloisonnement empêchant la transversalité** des méthodes et outils de travail entre les corps de métier. À défaut de les utiliser, les architectes et urbanistes cherchent à comprendre les **problématiques** qui accompagnent ces outils.

La question de la **responsabilité** est aussi bloquante : l'architecte volontaire pour faire du travail d'ingénierie doit aussi en endosser la responsabilité, qui est **moins soutenable sans les diplômes et références** correspondants.

*Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

Ils travaillent avec des spécialistes pour employer **l'augmentation de la technicité** au service de l'urbanisme en utilisant les **éco-quartiers** comme laboratoires.

## Entretien URB6 : architecte urbaniste, associé ENT14

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier** : architectes urbanistes

**Types d'études** : architecture immeubles logements et équipements, urbanisme avec de nombreuses ZAC

**Taille de l'agence** : une cinquantaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

L'agence, dirigée par plusieurs associés, a construit de très grands bâtiments publics, sur lesquels elle a développé une **palette très large de dispositifs techniques vertueux du développement durable** : ventilation naturelle, autonomie énergétique, chauffage eau solaire, récupération des eaux pluviales... Les questions et contraintes environnementales sont considérées comme constitutives de l'identité de l'agence.

La transition numérique est clairement articulée avec la transition énergétique. Une différence est faite entre la maîtrise de ces questions à l'échelle architecturale et une pratique non satisfaisante à l'échelle urbaine. Malgré le fait de conduire plus de 10 ZAC en ce moment, URB6 déplore les difficultés rencontrées dans le déroulé des études avec les **outils numériques, non efficaces, peu interopérables** par exemple.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

Le BIM est considéré comme maîtrisé ou maîtrisable à l'échelle bâtiment et les efforts actuels sont dirigés vers la CAO de site urbain. Par exemple, une expertise est en cours pour une **meilleure intégration des arbres dans le logiciel BIM**. Mais les outils de simulation environnementale à l'échelle urbaine sont actionnés en aval de la conception initiale, contrairement à ce qui se passe pour la conception architecturale.

### *Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

En interne, une pratique de recherche et développement prend la forme de plusieurs contrats **CIFRE** successifs et d'une **embauche récente d'un doctorant mathématicien**.

Cependant, malgré le déploiement de ces actions de recherche, la stratégie de l'agence n'est pas de s'isoler avec une R&D très développée en interne. Il s'agirait de partager des tâches avec d'autres acteurs concurrents. Une **stratégie de « réseau » est amorcée** depuis peu, afin de coordonner les efforts et les avancées de plusieurs agences d'architectes urbanistes sur les outils numériques du projet urbain. Une enquête auprès d'autres agences d'architectes urbanistes a été évoquée, celle-ci confirmant les hypothèses de l'agence sur les verrous actuels. Une veille est en place sur les logiciels d'aide à la conception et aux simulations environnementales dans l'agence.

## Entretien URB7 et URB8 : architectes urbanistes, associés dirigeants ENT15

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier :** architectes urbanistes

**Types d'études :** architecture immeubles logements et équipements, urbanisme avec de nombreuses ZAC, maîtrise d'œuvre espaces publics

**Taille de l'agence :** une cinquantaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

L'agence est basée sur un **triple front de production** : celui des édifices architecturaux, beaucoup de logements et des équipements, celui de l'urbanisme et celui de la **maîtrise d'œuvre d'espaces publics**. Ce dernier domaine étant une singularité dans la profession.

Au départ de la création de l'agence, les questions environnementales n'étaient pas particulièrement privilégiées. L'approche environnementale a été intégrée tout d'abord dans plusieurs bâtiments énergétiquement pointus dans leurs performances. Puis **ce savoir-faire « ruisselle » de manière diffuse dans les études urbaines**.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

Ils admettent le décalage entre les approches environnementales à l'échelle de l'édifice et celles des études urbaines. Ils n'utilisent pas de logiciels sous un angle paramétrique. La **production en BIM est déjà largement expérimentée et développée à l'agence**, et très peu à l'échelle urbaine. Ils travaillent avec de nombreux experts sur leurs projets, parfois très en amont dans la conception. Ils ne développent pas précisément une expertise numérique sur les sujets environnementaux.

### *Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

Ils sont **très ouverts à la recherche et développement** en partenariat, dans la mesure où ils en ressentent le besoin sans avoir de réponse précise actuellement. Par ailleurs, la formation et l'intégration d'une certaine expertise les intéressent.

## Entretien ARCHI1 : architecte, ENT4

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier** : architectes

**Types d'études** : architecture équipements, musées, développement de brevets

**Taille de l'agence** : une dizaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

**NB : Confidentialité exigée.** Coupure dans le texte faite. Transmission après relecture pour « version expurgée ». Demande explicite de ARCHI1 : pas de transmission du tout de l'entretien intégral. Diffusion interdite.

L'agence possède cette **singularité** d'aborder chaque projet comme une **expérimentation**, comme une recherche. La part de **recherche** dans l'agence et au sein des projets est très **valorisée**.

L'agence est **précurseur** sur la conception de tour à énergie positive, et travaille à l'échelle urbaine sur les **îlots de chaleur urbaine**. À l'échelle du bâtiment, ils développent la méthodologie du **bio-climatisme** passif en se passant de la climatisation pour utiliser les **flux d'air et les ombres**. Le **vivant** est l'intégrateur de leur posture, de leur démarche **esthétique et éthique**.

L'agence ne souhaite pas réaliser de **faisabilité classique**, pas de production d'immeuble compatible avec la promotion standard.

Ils travaillent sur l'**innovation sociale** qui se fait par l'introduction d'acteurs locaux dans le projet : c'est le **développement territorial**. Ils prennent par exemple l'image du toit comme un **lieu public** et accessible à tous comme **mesure sociale** forte car ils sont convaincus que la **cohérence sociale** dans un immeuble est un facteur important pour le « **vivre bien** » d'un bâtiment. Cela pousse les habitants à **se l'approprier**.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

L'équipe interne possède une **expertise** dans Rhino lui permettant de faire la synthèse avec la **modélisation des fluides et de l'enveloppe**. Dans l'agence, trois personnes sont formées et travaillent régulièrement avec **Grasshopper** depuis de nombreuses années. Ce plugin natif est intégré à Rhino, aussi utilisé comme **logiciel « pré-BIM »** depuis 2007.

Le logiciel **Revit** est très peu utilisé car considéré comme **trop lourd, non esthétique**. Ils n'ont pas la nécessité actuellement d'intégrer les couches supplémentaires que représente le BIM. Ils ont un avis sur le « ré-inventer » surtout collaboratif.

### *Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

L'agence possède une **branche recherche** managée par un ingénieur qui travaille sur l'intégration du vivant dans l'architecture.

Un des objectifs de la R&D de l'agence est la **démocratisation des outils** qu'ils développent en travaillant avec des industriels pour passer de **l'artisanat à l'industrialisation**. Elle applique quasi systématiquement le rôle de **démonstrateur** à ses projets.

L'agence possède un savoir-faire important dans le **montage de consortium de recherche**. La R&D passe aussi par la **collaboration avec les universités** qui permet d'investir le temps latent dans du suivi de projet, de la post-production.

## Entretien ARCHI2 : architecte, associé ENT8

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier** : architectes

**Types d'études** : conception bâtiments – équipements, bureaux, activités internationales

**Taille de l'agence** : de plus de 100 personnes, dimension internationale

### *Les points marquants de l'entretien*

Les questions des **problématiques environnementales** sont **intégrées depuis plusieurs décennies** dans la posture et les projets de l'agence.

La question de l'énergie n'est pas la seule approche, elle est replacée dans un ensemble plus vaste relevant d'une qualification du projet comme « contextuel ». Cette définition est centrale et stable dans l'énoncé de la théorie et de la posture architecturale de l'agence. **Les données environnementales, dites « contextuelles », sont prises en compte dès le début du projet** de manière collective, en équipe de direction, avec ou sans calcul.

L'approche paramétrique est présente depuis plusieurs décennies, tout d'abord de manière « manuelle », puis avec l'usage régulier du logiciel Grasshopper, avec des développements cloisonnés par les spécificités des projets, ceci dès la phase concours. Le recours aux modélisations paramétriques est essentiellement guidé par la conception de la forme, notamment de l'enveloppe du bâtiment. L'agence ENT8 a une identité qui développe une **forte volonté de concevoir des formes architecturales relevant de géométries complexes**, souvent angulaires et/ou curvilignes.

Les **aspects collaboratifs** sont particulièrement abordés dans l'entretien car occupent une place centrale. Les incidences des **contraintes économiques et des normes** sur la conception amont sont également soulignées.

Les **projets sont conçus comme des prototypes** et la logique d'accumulation des compétences est donc singulière. Elle **ne passe pas par une standardisation des détails techniques** mais par l'affirmation d'une méthodologie explicite et forte, basée sur le partage de l'information et de la conception « en train de se faire ».

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

ENT8 a un profil large **associant les acquis traditionnels des approches manuelles** et le potentiel des nouveaux outils numériques. La méthode ENT8 est bien identifiée en interne depuis la création de l'agence ; elle est en constante amélioration, basée sur le « partage », tout particulièrement en cours de conception. Cette **production en équipe est centrale et supprime la question du choix des outils eux-mêmes**.

Aujourd'hui, les coûts de la généralisation du BIM en interne sont pris en charge, notamment ceux de la **formation des concepteurs**. Un développement des possibilités de maquettes numériques est évoqué.

L'agence ENT8 n'internalise pas les compétences des BET. Elle le fait par contre systématiquement pour l'économie du projet.

Une **attente de meilleure visualisation des données** dans les modèles et simulations numériques est signalée. Une autre attente concerne l'ACV et les logiques liées au Carbone / GES.

*Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

L'agence **réfléchit à la création d'une structure dédiée à la recherche**. L'interviewé se dit ouvert à un échange ultérieur à cet entretien avec des acteurs de la recherche, afin d'approfondir les possibilités d'échanges, de collaboration.

## Entretien ARCHI3 : architecte, associé dirigeant ENT13

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier** : architectes

**Types d'études** : architecture immeubles logements et équipements

**Taille de l'agence** : une cinquantaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

**L'aspect écologique** a été introduit dans leurs projets il y a 30 ans. Il s'agit pour eux d'un **nouveau départ** des métiers de la conception architecturale. L'agence a été très vite investie dans des **projets passifs** et possède une relation de longue durée avec un bureau environnemental qui leur permet une **forte collaboration**.

L'agence se veut être une **contre-culture** en réponse aux méthodes dominantes et simplificatrices qu'impose le **système productif capitalistique**. Elle prône le développement d'une **architecture adaptée** au lieu et non l'utilisation de stratégies qui ont fonctionné ailleurs sans apporter les **nuances nécessaires** au lieu. Par exemple, le bâtiment à compacité variable implique l'utilisateur pour un climat doux.

L'architecture doit se faire par une **approche holistique**. Le rôle de l'architecte dans cette approche est souvent **de prendre, justifier et préférer** un choix à un autre. Il est possible de faire **l'analogie avec le budget** d'un projet. Il n'y a pas une seule réponse à un projet, **chaque projet résulte d'un ensemble de choix** qui pourraient être aussi valables. La décision de l'architecte pose la question **politique et sociale** de ce choix.

La question de **l'énergie** est pour lui centrale car elle est directement liée au **facteur économique** ; en effet, 10 ans d'usage peuvent avoir le même coût énergétique que celui de la construction.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

Les outils de conception numérique ont déjà été expérimentés, mais **l'externalisation** reste la norme.

Ils utilisent le logiciel de **modélisation de flux de foule** Legion pour de grands bâtiments publics.

Fort **scepticisme** vis-à-vis des outils : il est dénoncé la rapide évolution des outils produisant une **obsolescence programmée**. De plus, l'utilisation des outils produit une **déconnexion du réel** et *in fine* une **restriction sur la manière de penser**. L'outil a **tendance à façonner nos idées**, à la différence de façonner nos idées avec les outils. La diversité d'utilisation des outils dans une agence tend à disparaître avec **l'uniformisation par le BIM**.

Cependant, les architectes, qui se considèrent comme de **bons théoriciens**, reconnaissent ne pas avoir une maîtrise suffisante des outils, ce qui pourrait être limitant.

*Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

L'architecte interviewé possède une expérience dans **l'enseignement international** avérée. L'innovation se fait dans certains projets via les **démarches ATEX** pour pallier le frein que représente le cadre réglementaire.

## Entretien ARCHI4 : architecte, dirigeant, ENT16

*Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier :** architectes

**Types d'études :** architecture d'équipements, paysage

**Taille de l'agence :** moins d'une dizaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

ARCHI4 est formé à l'étranger, possède son agence, il a un profil, une œuvre et des méthodes d'une grande originalité. Sa **renommée internationale** est basée sur une approche architecturale fondée sur les questions environnementales.

Sa posture est singulière et assez rare parmi les architectes français mais aussi européens. Depuis le début de sa carrière, ARCHI4 conçoit une **architecture fondée sur des phénomènes physiques, objectivables, liés au confort**. Tout d'abord, la chaleur a été prise dans ses qualités physiques et a été placée à la racine de la composition architecturale des lieux, en refondant les emplacements dédiés aux différents usages de l'habitat. Une fois établi et reconnu l'intérêt de cette démarche innovante et radicale, un vaste développement théorique et projectuel a été opéré depuis les années 2000. Les **questions liées à l'hygrométrie de l'air, aux convections, à la ventilation ont été source de nouvelles propositions de dispositions architecturales** en accompagnant les effets de ces phénomènes de manière à replacer les usages autrement que les conventions ne le feraient.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

ARCHI4 travaille avec des BET pointus, généralistes et étrangers. Les outils de modélisation 3D sont classiques pour une agence d'architecture développant un univers de formes organiques, souvent curvilignes : Rhinocéros, Sketchup. On note cependant un **soin constant porté depuis les origines à la qualité de la représentation**, via l'usage constant du logiciel Illustrator par exemple. Les logiciels de simulation environnementaux internalisés sont basiques, Ecotec par exemple. Il faut cependant distinguer une expérience fondatrice et précoce avec le logiciel Comsol autour des années 2005. Les logiciels de simulations pointus sont déployés par les partenaires BET, comme pour les études aérauliques fines. On note une **grande fluidité des échanges** et une grande précocité dans le développement du processus de projet entre l'agence d'architecture et les équipes d'ingénieurs.

La **main-d'œuvre de l'agence est constituée de jeunes architectes internationaux**, essentiellement anglo-saxons, venant des écoles où ARCHI4 a enseigné. Cette main-d'œuvre de très bon niveau est bien outillée numériquement et remplit ainsi son rôle, sans le problème engendré par un turn-over important.

### *Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

Deux verrous sont pointés :

- Le premier consiste dans les difficultés engendrées par la nature elle-même de la main-d'œuvre internationale, extra-européenne, rencontrant des **obstacles administratifs de législation du travail**. Ceci montre que le niveau de formation sur les sujets environnementaux est limité comparativement aux grandes écoles anglo-saxonnes.
- Le deuxième verrou provient d'une trop grande séparation en France entre les écoles d'architecture et le monde professionnel architectural. La **profession architecturale se retrouve « désinformée » vis-à-vis de ces questions environnementales**, traitées de manière parfois pointue et adéquate dans les écoles et les laboratoires d'architecture internationaux.

ARCHI4 reste ouvert à la R&D partenariale.

## Entretien ARCHI5, ARCHI6 et ARCHI7 : architectes, ENT17

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier :** architectes

**Types d'études :** architecture immeubles logements et équipements, activités internationales

**Taille de l'agence :** une cinquantaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

L'agence est centrée sur de la MOE nationale aussi bien qu'internationale. 25% du CA est réalisé à l'étranger, en utilisant des outils communs. Notamment les **outils BIM permettent d'avoir une transversalité dans les méthodes de travail** entre les différents pays.

L'agence défend les **bienfaits du low-tech** et voudrait utiliser le **BIM comme porte d'entrée à la numérisation** du secteur du bâtiment.

Il y a beaucoup de **compétences internes en ingénierie, qui leur permettent en amont des projets de prendre en main la conception structurelle et environnementale**. Ces compétences en ingénierie légitiment les choix faits pour la conception architecturale. Ils font par exemple de la STD – Spécification Techniques Détaillées, des calculs facteur lumière jour.

Un fort dialogue avec les associés est entretenu, chacun ayant sa spécialité. Ce lien leur permet de prolonger leurs études avec les BET. Ils sont spécialisés dans le « management de l'environnement », et font intervenir des externes pour la partie conseil environnemental. Cependant **dans le cadre d'une collaboration avec un BEE, il est important pour eux de pouvoir garder la main sur l'équilibrage des paramètres** (e.g., lumière, énergie). En effet, il est parfois nécessaire d'arbitrer qualitativement des choix pour que le projet soit dans une cohérence urbaine même si en désaccord sur des questions environnementales. Ils **veulent s'imposer comme arbitres des priorités**.

Les outils de paramétrage de l'urbaniste sont utilisés pour l'aide à l'aménagement, pour les orientations majeures et le rapport au vent. Mais il y a un blocage en France sur l'analyse de variantes proposées dans des projets d'urbanisme. Le modèle anglo-saxon est lui plus ouvert au multi-propositions. La **faible proposition de variantes provient principalement du fait que les études urbaines sont mal rémunérées**.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

ARCHI5, ARCHI6 et ARCHI7 se disent ouverts à la conception computationnelle. Les outils d'aide à la conception étaient d'abord vus d'un œil méfiant mais se sont intégrés progressivement dans l'agence avec l'arrivée des nouvelles générations. Ils ont commencé dès 2012 par tester les outils BIM sur des petits projets pour se rendre compte de la

pertinence de son utilisation. Après **analyse de productivité rendant compte du bon rapport stratégie/dépenses**, les résultats furent suffisamment convaincants pour généraliser les processus BIM aux démarches de l'entreprise.

Aujourd'hui toute l'agence a été formée en interne et sait utiliser la méthodologie BIM. Ils se sentent par ailleurs isolés car **peu de collaborateurs externes travaillent en BIM**. La majorité travaille en BIM sous les contraintes contractuelles. Les échanges des architectes vers le BET se fait sous format BIM et le retour du BET vers les architectes ne se fait que sous forme de pdf. L'horizon pour la collaboration est d'intégrer directement les pdf dans la maquette 3D.

L'agence **met à ce jour la 5D BIM (l'aspect financier) en place**, les informations de l'économiste sont directement intégrées à la maquette. **L'idéal pour eux serait d'intégrer les études d'ingénieries**. L'intégration de ces études dans une structure de construction permettrait d'intégrer mieux les itérations entre conception et technique. Ils utilisent déjà les familles paramétriques de Revit leur offrant une modularité de la conception. Ils préfèrent le développement de Dynamo à Grasshopper car il s'associe directement au BIM.

#### *Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

La recherche partenariale prend la forme d'abord de contrat CIFRE, en prenant des doctorants pour une thèse en entreprise.

ENT17 **bénéficie également du CIR – Crédit Impôt Recherche**, garantissant un apport stable à la R&D.

Ils participent à des projets en milieu académique qui jouent le double rôle d'agrégation et de transmission des connaissances.

**L'effet de bord de l'utilisation des maquettes numériques est que la recherche est quasi permanente dans l'utilisation de ces outils** qui sont nouveaux et encore mal maîtrisés. Les logiciels paramétriques offrent quant à eux l'avantage de pouvoir construire un outil de zéro. Ils préfèrent par ailleurs développer un plugin sur logiciel maîtrisé plutôt que d'apprendre à utiliser un nouveau logiciel.

Les architectes **utilisent la réalité virtuelle en immersion dans la maquette pour juger des aspects qualitatifs de l'architecture**, comme le rendu de la lumière.

## Entretien INGE1 : PDG de ENT3

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier :** ingénieurs – BE Environnement

**Types d'études :** assistance maîtrise d'œuvre urbaine, AMO et maîtrise d'œuvre environnementale

**Taille de l'agence :** une quinzaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

ENT3 fait de plus en plus **d'études urbaines préalables (même si elles sont très complexes à vendre) où est étudié le confort d'usage** (ensoleillement, vues, aérodynamique). Il accompagne dès la phase de faisabilité la conception du plan masse : les enjeux environnementaux sont ainsi abordés dès les premières étapes. Selon lui, les cahiers des charges des villes sont de moins en moins quantitatifs. **La qualité de l'air est un vrai sujet à creuser, il y a peu de choses aujourd'hui.** Le bilan carbone à l'échelle du quartier n'a selon lui pas vraiment d'impact, c'est plus un outil de sensibilisation. Pour le cadre bâti, 60 % du carbone se trouve dans les fondations / structure.

L'amélioration de la gestion des ressources, de l'énergie passe par sa mesure. **Il met en avant l'utilisation de l'analyse de cycle de vie, l'ACV** qui permet de contrôler les phases pour lesquelles des améliorations peuvent être faites.

Sur la collaboration, « La maîtrise d'œuvre en France nous méprise. » C'est la maîtrise d'ouvrage qui pousse les questions environnementales. **La réputation pose un problème au niveau du jeu d'acteurs.** L'image, le statu quo agit comme un frein à l'innovation ou même à la nouveauté. Il souhaite utiliser des outils communs pour améliorer la collaboration entre l'architecte et l'ingénieur.

Pour la responsabilité politique, il prend l'exemple de Bordeaux où la MOA publique prend des positions politiques fortes qui ne laissent pas d'autre choix que d'investir dans une approche innovatrice comme les Bâtiments à Energie POSitive BEPOS. Cependant **le BET environnement sert souvent de soupape auprès des politiques**, il leur permet à la fois de se dédouaner et d'assurer de leur responsabilité environnementale qui est en général la variable d'ajustement.

Pour les labels, le Well plaît beaucoup aux investisseurs. Il existe quelques niches avec des projets intéressants où la MOA met la barre très haute. L'intérêt environnemental est principalement motivé par un intérêt financier ou de marque, en effet ce sont les investisseurs privés, l'industrie du luxe qui va commander un label). ENT3 **a mis en place des modèles HQE sur les modèles Breeam, Leeds, BBC1.** INGE1 est un écologiste très engagé, notamment dans ces démarches.

#### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

ENT3 n'utilise pas les outils paramétriques type Grasshopper, ni le BIM. Il ne fait pas d'exploration, uniquement de l'évaluation : Design Builder, Energy Plus, Ecotect, Radiance, SketchUp. Il évalue les formes urbaines, mais ne propose pas de modification dans les phases en aval de la conception. **INGE1 a un projet de recherche sur la lumière et a participé à l'élaboration d'un logiciel** (plugin SketchUp, évaluation lumière naturelle).

Il n'a pas de réticence vis-à-vis du numérique, ses avis sur les méthodes d'évaluation du confort et sur les méthodes simplifiées d'évaluation énergétique peuvent être intéressants. Il pourrait donc être un potentiel bêta-testeur.

#### *Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

Il fait état de problèmes économiques de la profession en soulignant que les prestations se vendent aujourd'hui 30 à 40 % moins cher qu'il y a 30 ans, il parle d'« ubérisation ». Pour INGE1 la **recherche est essentielle et occupe 15% du chiffre d'affaire** de l'entreprise qui profite notamment du Crédit Impôts Recherche (CIR). Pour lui le cercle vertueux du fonctionnement d'un BET passe par 4 étapes :

- **Conseil** pour la finance
- **Recherche** pour l'innovation
- **Audit** pour les références
- **Formation** pour la diffusion et la prospection

Il travaille avec un laboratoire de recherche européen et investit dans la recherche. Il est très critique vis-à-vis des ingénieristes (« les fossoyeurs de l'environnement »).

## Entretien INGE2 : architecte-ingénieur chez ENT6

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier :** ingénieurs – BE Environnement associé à une structure de MOE

**Types d'études :** certification, labels, MOE HQE, MOE toutes les phases, conseil

**Taille de l'agence :** structure totale : plusieurs centaines au total, ingénierie, management de projet, architecture. ENT6 comprend environ 20 personnes.

### *Les points marquants de l'entretien*

ENT6 s'affiche avant tout comme une agence d'architecture, pour être mandataire et signer les projets.

La **démultiplication des exigences et des labels est vécue comme une aubaine**, un prétexte pour apprendre de nouvelles choses. ENT6 est très sollicité pour faire des certifications E+C-.

La collaboration se fait en interne avec les architectes. INGE2 utilise la **représentation graphique pour dialoguer avec les architectes**. En externe, la collaboration est plus complexe, elle comporte beaucoup de réunions, avec des allers-retours souvent imposés dans un calendrier par la maîtrise d'ouvrage.

Le **BIM n'est jamais utilisé en phase de conception / esquisse**, mais plutôt après pour le projet en EXE ou en synthèse. Le passage au BIM est un très gros investissement pour l'agence.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

Ils ont une **grande pratique du BIM, ils développent des méthodes en interne pour plus d'interopérabilité BIM** et simulations (trop d'informations dans le BIM pour de la simulation).

Pour les phases amont, les outils développés sur Excel permettent de faire de rapides simulations.

Pour travailler avec leurs architectes ils ne font pas de simulations, « on connaît nos architectes ». La STD et autres simulations détaillées se pratiquent à la fin des phases d'études, pour conforter les rendus vis-à-vis de la MOA.

La pratique de Grasshopper se fait chez les ingénieurs qui travaillent sur la façade. Ils ne connaissent pas les plugins pour l'évaluation environnementale sur Grasshopper (Ladybug, Honeybee).

*Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

ENT6 est une très grande entreprise pour le secteur. Un collaborateur d'ENT6 travaille à l'échelle urbaine avec des outils pour les phases amont. Il pourrait être intéressant de l'interviewer.

## Entretien INGE3 : architecte ingénieur, ENT7, Chef de projet pôle physique du bâtiment

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier :** ingénieurs, BE d'ingénierie tout corps d'état, organisation en pôle métiers

**Types d'études :** Maîtrise d'œuvre immeubles logements et équipements

**Taille de l'agence :** ensemble du groupe : plus de cinquante de personnes, service moins d'une dizaine.

### *Les points marquants de l'entretien*

INGE3 considère le point de vue de l'intérieur de la conception architecturale, en phase concours notamment. Il reconnaît que chaque corps de métier apporte une réponse -non transversale- aux contraintes environnementales. Ce qui offre des solutions, mais pas toujours optimales. **Un des principaux freins à la collaboration est la différence de financiarisation ; le modèle financier de l'architecte se base principalement sur le « déploiement commercial » avec la tarification au forfait tandis que le modèle financier du BET est plus « exécutif » avec la tarification à l'heure.** Certaines parties du projet ne sont pas budgétisées, notamment pour les parties environnementales. Pour conséquence, son budget est pris sur le reste de l'édifice et devient une variable d'ajustement. Généralement architecte et BET s'entendent sur des positionnements complémentaires : le premier guide pendant que le second apporte son support. Le BET vient en validation du travail de l'architecte.

Le bureau d'études axe son expertise sur le confort et l'énergie du bâtiment. **L'utilisation de label devient un argument de vente, malheureusement il retire le pouvoir au BET :** l'obtention ou non d'un label prévaut sur l'expertise hors-label du BET. Le label E+C- impose aux concepteurs utilisant du béton de compenser l'impact qu'aura ce matériau sur la consommation et le traitement des déchets. Le label s'appliquant à toutes les phases de la conception, cela nécessite que les corps de métier se décroisent pour optimiser l'obtention du label.

**INGE3 met en cause les promoteurs qui ne font appel au BET qu'après la phase conception réalisée par les architectes, ce qui ne permet pas d'avoir une analyse poussée en amont.** INGE3 regrette ce paradoxe qu'il n'y ait pas plus d'études faites notamment sur les fondations en béton qui sont la partie la plus lourde dans le bilan carbone. La majorité des calculs environnementaux est fait à l'APS. Dans les phases d'après ce ne sont généralement que des ajustements. **Une prise en compte en amont des études environnementales permet de prévoir plusieurs scénarios pour une budgétisation plus précise en fonction de la stratégie énergétique, environnementale souhaitée.** INGE3 témoigne d'une programmation contre-productive d'un bâtiment à une durée de vie de 28 ans, durée du contrat d'exploitation,

ce qui a pour conséquence une obsolescence programmée du bâtiment avec l'utilisation de produits et matériaux de qualité moindre.

**Une grosse partie de l'expertise sur BET est basée sur le retour d'expérience (REx)**, qui permet de récupérer les données de projet réalisés pour en tirer les forces et les faiblesses. En interne, c'est le chef de projet qui a pour rôle d'opérer la transversalité. Le REx sert notamment en phase concours avec l'architecte, l'économiste et le BE de travailler ensemble pour ne pas être dans des schémas de bâtiments hors normes vis-à-vis du budget. En phase concours, la stratégie du BET est d'investir dans une bonne agence d'architecture ou plusieurs à la fois sans investir excessivement plutôt que d'investir beaucoup dans une structure non fiable.

Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?

*Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

ENT17 a une approche nuancée sur la question, ils accordent une confiance progressive aux outils numériques. Ils ont par exemple un **profil à double compétence ingénieur architecte dans le bureau d'étude qui initie l'utilisation du paramétrique sur l'enveloppe et les calculs structurels.**

Pour INGE3, l'intérêt du BIM à long terme réside dans son utilisation en 7D i-e en maintenance, et de l'information que l'on a insérée dedans.

INGE3 considère que le BIM arrive trop tard en conception. Pendant la phase concours, le minimum des problématiques environnementales est abordé, ce qui ne nécessite généralement pas une maquette 3D en BIM car l'investissement est lourd. Il y a la volonté de la créer néanmoins en espérant pouvoir la transmettre par la suite.

Le système français s'oppose au système anglo-saxon car le BET conception est séparé du BET exécution, ce n'est pas le cas dans ce dernier. **Le BIM vient du système anglo-saxon, qui est réputé plus transversal.** En effet, une manière plus intégrée de travailler permettrait d'éviter les phases d'optimisation lors de chaque transfert de données entre acteurs.

*Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

Non abordé.



## Entretien INGE4 : ingénieur architecte, dirigeant ENT9

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier :** ingénieur - BET ENVIRONNEMENTAL

**Types d'études :** études environnementales

**Taille de l'agence :** une vingtaine de personnes sur un site

### *Les points marquants de l'entretien*

ENT9 travaille sur la réflectivité des matériaux dans une **logique de dissipation ou récupération de la chaleur**. Ils utilisent le « sol à albedo variable » : selon la période estivale il adapte la réflectivité du sol selon le besoin de capter l'énergie solaire ou de la réfléchir. En hiver, l'intérêt est de récupérer les apports solaires (albedo = 0). En été, il est de réfléchir cette énergie (albedo = 1).

INGE4 met en cause la **labélisation qui crée une déconnexion avec le réel**, et qui attire surtout chez les investisseurs une valorisation financière.

Il met en cause le fait que **l'esthétique prévaut encore sur l'aspect environnemental** ; un bâtiment, bien qu'il puisse être frugal, peut subir des modifications voire sa destruction si l'esthétique n'est pas à la hauteur de sa performance énergétique. Il parle de **la maladie du greenwashing** : quand l'image prend le dessus sur la pensée. En phase concours le greenwashing se cache derrière la légitimité de la science.

Pour lui, c'est le concepteur qui détient le pouvoir de construire à un impact qui peut être très important en termes d'empreinte écologique et qui endosse donc **la responsabilité environnementale** du projet. Il a aussi un pouvoir considérable par rapport au citoyen lambda car il fait rentrer en jeu de forts impacts environnementaux dans les choix qui sont faits pour la conception.

Il ne croit pas à l'ajout de technicité au bâtiment et privilégie des stratégies simples et de bon sens, il est sceptique vis-à-vis du suréquipement des bâtiments.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

ENT9 a un profil très expert. Une attente de leur part concerne l'ACV et les logiques liées au Carbone / GES afin de traiter explicitement des « priorités ».

Les outils numériques sont utilisés pour la modélisation CFD (Computational Fluid Dynamics) qui modélise la circulation de l'air et du vent.

Ils utilisent les outils paramétriques pour faire un travail en parallèle sur la géométrie et la structure, spécialement dans le cas de structure légères. Ils sont **utilisés comme outils d'exploration en amont de la conception**.

La 4D est peu prise en compte dans les phases de projet, l'horizon est celui du livrable et ne prend rarement en compte les éventuelles évolutions de réglementation.

Malgré une utilisation avancée des outils numériques, INGE4 reste prudent sur la confiance à leur accorder et au pouvoir qui leur est confié. Il **met en garde contre « l'aliénation du geek »**, qui serait une total déconnexion du réel.

*Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

L'agence ENT9 a une expertise très proche des questions soulevées par la recherche XMuse. Ce BET est intéressé par les partenariats de R et D.

## Entretien INGE5 et INGE6 : ingénieur architecte, PDG ENT11.1 et ingénieur, directeur ENT11.2

### *Profil général des interviewé.e.s*

#### *ENT11.1 (INGE5) :*

**Catégorie métier :** ingénieur, BE structure et enveloppe

**Types d'études :** architecture équipements

**Taille de l'agence :** moins d'une dizaine de personnes

#### *ENT11.2 (INGE6) :*

**Catégorie métier :** ingénieur, BE environnement

**Types d'études :** assistance maîtrise d'œuvre urbaine, AMO et maîtrise d'œuvre environnementale.

**Taille de l'agence :** une dizaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

Entretien à deux voix, à la fois avec le point de vue du **BET structure et du BET Environnemental**. Pionniers tous deux des questions numériques et environnementales. INGE5 a un double profil ingénieur architecte, qui lui confère de la facilité pour aborder la question environnementale.

Pour INGE5, la **compréhension de la structure est plus à la portée de l'architecte que celle de l'énergétique car elle est plus intuitive**, et peut s'apprendre de manière visuelle. Il témoigne d'un fort cloisonnement des rôles entre l'architecte et le BET, avec une lente évolution qui s'opère. Mais le **manque de compétences transverses et la non-garantie des honoraires** n'améliore pas les échanges. La distribution des rôles s'opère dans une logique sectorielle qui amène à une livraison de plusieurs lots séparés et cloisonnés. Certaines collaborations se passent bien, lorsque l'architecte est réceptif aux arguments du BET ; d'autres ne se font que par nécessité, lorsque l'architecte prend le BET pour garantir sa tranquillité sans être prêt à une remise en question. Il prend l'exemple de l'ingénierie anglaise, décloisonnée et comprenant dans ses structures une porosité entre l'ingénieur structure ou lumière et l'architecte.

L'équilibre de la densité urbaine est un réel enjeu pour la conception, elle doit être suffisante pour limiter les déplacements et non exagérée pour assurer un certain niveau de confort.

La nouvelle réglementation, type E+C-, aide à avoir une réflexion sur les matériaux et leur impact en termes de pollution. Mais les **certifications et labels sont mis en cause comme frein à la créative effervescence de l'architecte**. Ils pénalisent également les

BET à qui la maîtrise d'ouvrage ne fait plus confiance car celle-ci a été détournée par la labellisation.

Le format de concours contraint architectes et BET à vouloir le remporter à tout prix sans accorder l'importance nécessaire à la conception : l'image importe plus. Lors de cette phase concours, le rôle du BET est souvent limité. En phase concours, le rôle du BET est limité à assurer le minimum structurellement et énergétiquement car ces critères environnementaux pèsent peu dans les jurys. **La prise de conscience doit néanmoins se faire lors de la rédaction de la phase concours.**

#### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

ENT11.1 et ENT11.2 sont déjà des utilisateurs d'outils de conception computationnelle dans leur pratique, sur des écoconceptions ciblées par métier. Pour INGE5, les outils paramétriques peuvent être un moyen de communiquer entre l'architecte et l'ingénieur. Cependant **la complexité de certains outils peut mettre de côté les personnes non initiées, dont la MOA**, certains architectes et urbanistes. Le modèle 3D doit être un outil de travail comme extension de la pensée qui permet l'analyse plus fine et non une déconnexion entre le digital et la réalité. L'ordinateur doit rester un outil et ne pas être le preneur de décision.

Le BIM est quasiment systématiquement utilisé car il rassure la MOA sans pour autant avoir un intérêt pertinent à chaque utilisation. Il comporte beaucoup de données et d'informations, dont il peut être difficile de faire la synthèse. L'outil BIM doit être utilisable par tous, donc trouver l'équilibre entre la complexité et la pertinence. **L'outil BIM doit permettre la scénarisation pour établir des stratégies à adopter et écarter celles qui ne seront pas pertinentes par des phases de tests et de dichotomie d'optimisation.**

Les outils de conception computationnelle engendrent une complexification des métiers du bâtiment attirant des profils de plus en plus prestigieux d'ingénieurs.

Ils utilisent une grande diversité de logiciels utilisés avec notamment des passerelles entre les outils BIM et paramétriques : **le premier crée de l'information, le second permet de la stocker et de la mettre à profit dans les dimensions BIM** (ex. financier, maintenance).

**Ils utilisent les outils paramétriques pour des analyses avec la lumière naturelle.** Ils évoquent l'intérêt d'un outil de mesure paramétrique de l'impact de la forme urbaine sur la consommation en énergie en kWh. Les outils paramétriques (GrassHopper avec Kangaroo par exemple) sont aussi utilisés pour les calculs de structure, ou pour des cartes de visibilité. Le paramétrage dans GrassHopper permet de choisir le rôle spécifique des panneaux de l'enveloppe en fonction de leur orientation, de ces panneaux seront alors dépendants la fabrication d'électricité, l'entrée de lumière et l'isolation thermique.

*Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

Le BET structure pratique la recherche universitaire.

## Entretien INGE7 : architecte ingénieure polytechnique Milan, ENT18

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier :** ingénieur, BE environnement

**Types d'études :** assistance maîtrise d'œuvre urbaine, AMO et maîtrise d'œuvre environnementale

**Taille de l'agence :** une dizaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

L'agence est formée sur le modèle de la SCOP : Société coopérative et participative.

ENT18 utilise les simulations environnementales. Leur définition du bioclimatique se base sur la densité au sol des bâtiments, leur emprise au sol ; le rapport espace libre/espace construit ; la surchauffe urbaine avec l'analyse d'îlot de chaleur urbain (ICU) ; la gestion des eaux pluviales. Ils préfèrent ne pas participer à des missions de labélisation ou de certification. Il y a un **fort scepticisme vis-à-vis de ces labels** qui peuvent devenir des contraintes alors que le BET voudrait plutôt être dans l'expérimentation.

**La collaboration avec les partenaires extérieurs est bonne.** Par exemple, ENT1 est urbaniste sur un projet d'aménagement et eux sont AMO, il y a une bonne fluidité de travail entre eux sur l'élaboration notamment du plan masse. Cela permet d'intégrer une nécessaire mise en amont des études environnementales. Cette intégration en amont des études environnementale est facilitée quand le BEE est rapidement dans le circuit de la conception. La prise en compte de l'argumentaire du BEE est fortement dépendant du bon rapport entre les acteurs. Le cadre de travail idéal pour le BEE est de pouvoir fixer les hypothèses de travail durant la phase conception, dans le cas où la morphologie est déjà fixée, le BEE cherche les pistes d'optimisation en fonction des marges de manœuvre.

Ils utilisent différentes échelles de travail : du format urbain jusqu'à l'échelle bâtiment, ils font de l'AMO et de l'AMOA. **En AMOA, ils aident à la mise en place de stratégies qui sont ensuite utilisées et validées au niveau politique.** Ils déplorent néanmoins le manque de cohérence dans les demandes de certains MOA. Leur suivi de projet peut se faire de la phase d'écriture du CDC jusqu'à la phase travaux. À l'échelle des quartiers, ils aident à l'élaboration de stratégies énergétiques (ex : réseau de chaleur). **La participation à la mise en place des coefficients environnementaux peut se faire de deux façons : en AMO, ils fixent les objectifs et donnent les outils aux urbanistes pour qu'ils fassent les calculs et font les vérifications a posteriori ; ou en MOE, où fixent les objectifs et exécutent les calculs.**

Au niveau urbain, le BEE utilise le coefficient de biotope qui s'intègre de plus en plus dans les PLU. Les analyses biotopes les conduisent à travailler sur les hypothèses de typologies d'espaces verts : l'épaisseur des terres, les strates végétales, les strates arborées,

herbacées et arbustives. Les études de lutte contre les ICU sont aussi intégrées dans les méthodologies du BEE, sous forme de tableur Excel. Ils définissent le coefficient « régulo-thermo-surfacique » (RTS) pour l'absorption surfacique de chaleur par les sols. Le calcul ICU s'intègre dans le RTS avec prise en compte de l'évapotranspiration, de l'ombrage et de la couleur. Le BEE fournit aux architectes et urbanistes, qui veulent bien jouer le jeu, une méthode simplifiée pour atteindre les objectifs de coefficients qui leur sont fixés. Les surfaces sont extraites de Revit et les calculs faits dans Excel, ce qui permet dans ce cas une bonne portabilité. **Régulation thermique, biodiversité et eaux pluviales sont les 3 principaux axes étudiés au niveau urbain.** Les principaux critères d'amélioration de lutte contre l'ICU sont les toitures végétalisées et l'épaisseur des terres.

#### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

Généralement, pour la portabilité, le BEE récupère les maquettes 3D (SketchUp etc) pour pouvoir faire les analyses dessus, ils récupèrent souvent la maquette sous forme d'IFC, notamment pour faire de la visualisation. La question graphique est très importante pour eux pour la bonne compréhension entre les différents acteurs. **La portabilité est malheureusement parfois si faible que dans certains cas il est nécessaire de refaire de zéro le modèle,** et ceci malgré les nombreuses tentatives faites par le BEE. Les problèmes de conception faits par les archis empêchent la bonne utilisation des logiciels du BEE. Le vrai intérêt dans la portabilité des maquettes réside dans la lisibilité du bâtiment. Le thermicien sera plus à même de lire les dimensions et de comprendre la maquette qu'avec les traditionnels plans coupes façades.

À l'échelle territoriale, il y a une forte utilisation des logiciels SIG avec l'intégration notamment des coefficients environnementaux dans cet outil. Ils ont développé un outil en interne pour le SIG environnemental. **La légitimité de l'intégration de ces coefficients environnementaux est donnée par la contractualisation des objectifs dans le cahier de prescriptions.**

En phase de conception plusieurs critères d'évolution sont étudiés sur les outils numériques : la volumétrie, l'orientation, l'implantation, l'épaisseur des bâtiments, l'ensoleillement.

Ils développent en interne des outils et plugin facilitant le travail pédagogique de la transmission de données vers les architectes urbanistes.

L'utilisation du BIM est différente entre les architectes et les techniciens, ce qui rend les maquettes mal compatibles. Ils évoquent l'intérêt du BIM niveau 3. L'outil BIM n'est pas encore au point ou mal maîtrisé car très rigide.

INGE7.2 exprime du sceptique vis-à-vis des outils paramétriques car ils ne peuvent pas résoudre la conflictualité entre la multitude de facteurs mais s'avère utile pour les calculs de CFD (Computational Fluid Dynamics) comme la ventilation naturelle hygiénique, la circulation intérieure des courants d'air. Ces cas restent très particuliers.

*Quelle ouverture à la recherche partenariale ?*

La recherche est intégrée en interne sous forme de R&D ils font aussi du conseil. **La R&D se fait surtout via des réponses à des appels à projet de l'ADEME.**

Ils ont un CIFRE travaillant sur les ICU et l'intégration dans des fichiers météo du microclimat créé par la ville.

Ils travaillent sur la possibilité d'intégrer la notion de confort pour l'utilisateur en plus de la notion environnementale, par l'acoustique et la qualité de l'ambient (air, température).

## Entretien PROG 1 : programmiste, Directeur associé ENT12

### *Profil général des interviewé.e.s*

**Catégorie métier :** programmiste

**Types d'études :** assistance programmation urbaine, programmation architecturale

**Taille de l'agence :** une vingtaine de personnes

### *Les points marquants de l'entretien*

#### **Structure - spécificité**

La structure d'ENT12 est ancienne, environ 25 ans et plusieurs équipes dirigeantes qui se sont succédé. Cette structure de programmistes est de taille importante en regard de l'atomisation de cette profession.

Elle est missionnée sur une centaine d'affaires par an, ce qui est considérable et significatif des profils de commande de la programmation urbaine et architecturale.

**Les missions sont situées la plupart du temps en amont des opérations.** Il est peu ou pas fait appel aux programmistes pendant ou en aval des projets. Ce déficit de missions situées aval s'explique par la structure de la commande et non pas par le savoir-faire de la structure lui-même. Ce cloisonnement pèse sur une vision large des thématiques pourtant bien maîtrisées en amont, et surtout cela limite les retours d'expérience. Cela obère peut-être le potentiel de recherche et développement de la profession de programmiste.

Les sujets d'études sont posés à de multiples échelles, de la grande échelle territoriale, avec des études réglementaires de PADD, rarement de PLU, de maîtrise d'œuvre urbaine de ZAC, des faisabilités d'équipements, dans de grandes métropoles et des villes de taille moyenne.

Les spécialités sont les études mettant en relation les programmes d'habitation et d'équipements, comme pour la programmation des groupes scolaires en lien avec une population nouvelle ou en évolution.

Dans la pratique, **très peu de rapport avec les études environnementales sont constatés**, du fait de la répartition des missions en phase de programmation pendant lesquelles un acteur spécialisé est désigné par la maîtrise d'ouvrage.

### *Être un futur utilisateur d'outils de conception computationnelle ?*

#### **Les outils**

L'usage du SIG – Système d'Information Géographique – est fréquent avec le logiciel QGIS. Les simulations calculées sont faites essentiellement avec Excel. Il n'y a **pas d'usage de logiciels de simulations environnementales**. Ceci semble induit par la division des

rôles très spécifiés dans les équipes de maîtrise d'œuvre urbaine, celle-ci étant composée, en règle générale, par l'architecte urbaniste, le paysagiste, le BET VRD, les experts en mobilités et en questions énergétiques, le BET Développement Durable et le programmiste urbain.

#### Quelle ouverture à la recherche partenariale ?

### Partenariat potentiel

Une faiblesse des démarches de recherche et développement est soulignée et un intérêt pour le CIR – Crédit Impôts Recherche – est pointé.

Points forts :

- Une très bonne connaissance des besoins analysables par des bases de données de type INSEE, avec un déploiement en cours sur ce thème.
- Une grande souplesse de méthodologie, pour traiter de petites missions très ciblées (une centaine de missions par année pour une vingtaine de personnes).

## 4,3 – Analyse thématique

Cette analyse est organisée autour de grandes thématiques fondamentales pour les référentiels de la ville durable. La culture des référentiels de l'aménagement urbain guide de plus en plus les professionnels de la conception et de la gestion des territoires, surtout à l'échelle de l'îlot.

Nous voulons documenter certaines facettes de la conception architecturale et urbaine, celles engagées par les outils numériques eux-mêmes.

Les principes actifs, nos mots-clefs principaux, sont puisés dans les sphères des jeux d'acteurs et dans les modèles et simulations de la conception urbaine et architecturale.

Ces thématiques sont retenues car elles sont les vecteurs de profondes transformations en cours de la conception urbaine et architecturale. Elles permettent d'alimenter la discussion autour des hypothèses des entretiens établies en amont.

### 4,31 – Économique

#### 4,311 – Coût

**L'ambiguïté de la réglementation** provoque des budgétisations allant du simple au double sur les chantiers, le **surcoût** est très fréquent. « *Comme les surcoûts qui arrivent pour des raisons absolument immaîtrisables, qui sont invraisemblables, des interprétations de réglementation, [...]. et d'un coup ils font tout doubler.* » ENT2-L306.

Les méthodes modernes environnementales d'économie sur l'énergie sont contre-intuitivement remises en cause, et cela par leur **impact sur les coûts**, notamment d'une

réhabilitation. « *Il existe même chez nous une certaine défiance vis-à-vis de la question de l'isolation par l'extérieur.* » ENT1-L134.

#### 4,312 – Rapport investissement résultat

Le métier d'architecte, d'urbaniste est animé par la **passion**, qui est le moteur du rapport investissement sur la qualité. Il en découle une difficile budgétisation, à l'inverse de domaines très régulés comme l'aviation. « *La question du rapport entre le coût et la qualité n'est absolument pas paramétrable parce qu'elle est passionnelle, on est dans des aventures humaines, on n'est pas du tout dans des choses qui sont quantitatives.* » ENT2-L351.

L'intérêt environnemental est aujourd'hui principalement motivé par un intérêt financier, car il a un fort potentiel de **valorisation**. « *Les investisseurs mondiaux ont bien compris qu'aujourd'hui, mettre en place une démarche environnementale certifiée, validée, valorise un bâtiment, un produit, entre 5 et 10 %.* » ENT3-L73.

La stratégie BET **en phase concours est de s'investir dans un bon archi** ou plusieurs à la fois, sans investir trop, plutôt que d'investir beaucoup dans une structure. Comme dans cette phase c'est l'architecte qui empêche la quasi-totalité des honoraires, le BET préfère **miser sur une valeur sûre, voire sur plusieurs à la fois**. « *Je crois que malheureusement le BET n'a rien à y gagner. Financièrement. L'architecte va opérer le gros de la démarche commerciale et donc l'essentiel du temps à passer. Aussi l'architecte va-t-il encaisser, en général, l'indemnité du concours, voire la totalité. L'ingénieur se dit qu'il vaut mieux courir un "bon cheval" ou "plusieurs chevaux en même temps", en ayant juste une fonction support, basée sur quelques réunions qui ne coûtent pas trop cher, plutôt que faire un gros investissement à risque. Ce n'est jamais dit, mais c'est clairement ce qui est vécu.* » ENT7-L546.

#### 4,313 – Marché

La **financiarisation des études urbaines** ne prend pas en compte la simulation numérique. Ce qui crée un dilemme dans la conception et la mise en œuvre de la simulation numérique. « *Les études urbaines, c'est absolument sous-payé, donc dans les conditions actuelles financières, si on met l'argent dans la simulation numérique on ne le met pas dans la conception. C'est impossible, c'est incompatible.* » ENT2-L481.

L'AMO et la MOE comprenant des études environnementales sont souvent des **clients « riches »**, qui sont de grandes entreprises du luxe, bancaires, d'assurances. « *Cela reste encore essentiellement un "sport de riches" : mes gros clients sont Chanel, LVMH, BNP, Cogedim.* » ENT3-L61.

Le marché connaît l'arrivée de **nouveaux acteurs, type conseil**, pour la qualité de vie à l'échelle urbaine. Cette stratégie en conseil concerne souvent des **zones à réhabiliter**, anciens sites industriels et manufacturiers. « *Des gens comme Plateau Urbain, ou La Belle Friche, ou Le Grand Réservoir... sont les nouveaux acteurs de l'urbanisme, entendu différemment. Évidemment, ils ne font pas des plans d'urbanisme : ils préfigurent la vie dans le quartier, développent des usages...* » ENT10-L111.

Un **verrou** en France est le cloisonnement entre les **milieux académique et professionnel** qui est beaucoup plus perméable à l'étranger. « *Dans la profession, un verrou ce serait [...] entre l'académie et la pratique, les écoles et la pratique. Je pense qu'en France, le rôle des écoles, peut-être ça change en ce moment. Les grandes écoles américaines, comme Harvard, ont un rôle intellectuel moteur dans les idées, parce qu'ils cherchent toujours à être à la pointe.* » ENT16-L639.

Le format de concours contraint architectes et BET à vouloir le remporter à tout prix sans accorder l'importance nécessaire à la conception : **l'image importe plus** que la conception et les enjeux environnementaux. « *Le concours a un temps donné, il faut produire, il faut une image. Ce qui est clairement sous-entendu, quand ce n'est pas dit noir sur blanc, c'est : "Ton job c'est de nous aider à gagner les concours. Ce n'est pas [...] comment on fait le projet", en gros. [...] Mais la manière dont la commande est formulée nous met déjà dans une position très difficile.* » ENT11-273.

## 4,32 – Environnemental

### 4,321 – Énergie et GES

L'environnement dans le cadre de l'urbanisme fait intervenir des sciences et domaines très larges en rapport à **l'écoconception**. « *L'environnement, [...] cela dépasse la question de l'énergie, c'est un concept lié à la nature, au sens large là encore, qui inclut la biodiversité, le sol, l'eau, les questions d'écoulement de l'air, etc.* » ENT2-L24.

La **sensibilisation** passe aussi par l'usager. Il est préférable en termes de GES de travailler en pull dans un environnement à 20 °C plutôt qu'en T-shirt à 25 °C. C'est un travail de communication et de mentalités. « *Je le vois quand je fais de l'exploitation et des relations : on n'est pas bien dans son bureau au travail, et on râle parce qu'on n'a pas 23 °C et qu'on veut être en T-shirt.* » ENT3-L610.

L'intérêt du coefficient de **biodiversité** est grandissant : les arbres, la pleine terre garantissent le **rafraîchissement** au niveau urbain. « *La pleine terre permet de planter des végétaux de toutes sortes : des arbres qui font de l'ombre, et permettent l'évapotranspiration en été, qui va diminuer de 2 degrés la température du quartier.* » ENT10-L490.

Il est préconisé une pompe à chaleur avec **stockage d'énergie**, sous forme de stockage d'eau, plutôt que de la ventilation double flux. « *On récupère la chaleur non pas par un double flux, mais par des pompes à chaleur qui sont infiniment plus performantes. On stocke la chaleur dans le froid, et on la récupère dans la journée, il s'agit donc d'un stockage journalier, et pas annuel, d'énergie.* » ENT10-L573.

#### 4,322 – Préservation des ressources

Le BIM est adapté et peut être utilisé pour la construction low-tech à partir notamment de **matériaux bio ou géo-sourcés**. « Tu peux très bien faire une maison en pierres massives en BIM. » ENT2-L814.

L'amélioration de la gestion des ressources, de l'énergie passe par sa quantification. **L'Analyse de Cycle de Vie** permet de contrôler les phases pour lesquelles des améliorations peuvent être faites. « La démarche environnementale consiste à définir d'où on part, un niveau de consommation, du neuf ou de l'existant, et à définir des indicateurs pour les tenir : les kilowattheures du mètre carré, des kilos de CO<sub>2</sub>, des mètres cubes d'air, des émissions de quantités de déchets produits aussi bien sur les matériaux que sur l'énergie, ou sur l'eau. » ENT3-L129.

La prise en compte de **l'eau** au niveau urbain devient un enjeu, notamment dans la gestion des **eaux grises**. « La ressource en eau n'est pas garantie, comme on l'a cru longtemps. [...] gérer l'eau de façon qualitative, avec économie, est une chose très intéressante. On a même essayé d'aller vers la récupération et l'assainissement des eaux grises, qui est un processus plein d'avenir. » ENT10-L496. Une grande partie de l'eau que l'on utilise est **potable** (~50 %), alors que nous ne la consommons pas. Cette eau pourrait provenir de **circuit fermé d'eau traitée réemployée**. Il y a un **blocage réglementaire** en France alors que ça a déjà été mis en œuvre dans certains pays du Moyen-Orient. « Il faut savoir que la moitié de l'eau potable qu'on consomme passe dans la chasse d'eau [...]. Alors qu'on peut parfaitement traiter les eaux grises, les eaux non chargées organiquement, avec toutes les autres eaux de lavage, dans de petites machines qui ne prennent pas beaucoup de place. » ENT10-512

#### 4,33 – Organisationnel

##### 4,331 – Durabilité

L'environnement est systématiquement la **variable d'ajustement** en termes budgétaires. Les impondérables sont rognés sur l'écologie. « La variable de négociation de qualité, c'est la démarche environnementale. » ENT3-L280.

Un des objectifs de la R&D dans les agences est la **démocratisation** des outils qu'ils développent. Ils travaillent avec des industriels pour passer de **l'artisanat à l'industrialisation** et l'utilisation grand public pour produire un **effet d'échelle** abaissant les prix et rendant les technologies plus accessibles. « Il s'agit de passer d'un système imaginé artisanalement à un système industriel qui doit être reproductible, rentrer dans notre prix, etc. L'objectif étant de baisser les prix. » ENT4-L228.

La rapide évolution des outils produit une **obsolescence programmée** de leur utilisation. « Vous allez passer deux ans pour développer quelque chose, trois ans, et dans trois ans,

*probablement, on aura cinq logiciels qui feront exactement la même chose que ce que vous êtes en train de faire, peut-être plus rapidement. » ENT13-L441.*

Le fait que les architectes soient de **bons théoriciens** mais n'aient pas une maîtrise suffisante des outils peut s'avérer limitant pour eux. Il leur devient **nécessaire de se mettre à jour** pour pouvoir suivre la concurrence. *« Moi je le vis en tant que victime, je me dis que c'est absurde, qu'aujourd'hui j'ai des architectes extraordinaires qui travaillent avec un logiciel, et il faut que je trouve d'autres architectes parce qu'ils ne savent pas utiliser le logiciel que l'entreprise me demande. » ENT13-L593.*

Pour exister en phase concours, certains BEE ont développé de nouvelles stratégies : **la séduction par le visuel**. À défaut de pouvoir développer des stratégies énergétiques dans ces phases compétitives, ils prennent leur position sur le visuel. **La forme l'emporte sur le fond**. *« C'est une véritable porte d'entrée chez les architectes. Par exemple, pour les concours, ils apprécient tellement nos dessins qu'ils ont envie de les insérer. » ENT6-L160.*

#### 4,332 – Management

**L'impulsion** pour une approche environnementale dans un projet doit en premier lieu venir de la **MOA**. *« L'approche environnementale s'articule ensuite avec les questions architecturales de définition... mais il y a un travail intermédiaire, qui porte sur l'ambition globale du projet, de la maîtrise d'ouvrage, de tout un écosystème qui fait que le projet relaie une ambition ou pas. » ENT1-L164.*

L'expertise introduite par numérisation des problématiques environnementales nécessite de l'urbaniste de s'associer avec des **partenaires externes**. Cette collaboration est pour lui dépendante de deux critères : le rapport humain et la technicité de l'approche. *« Cela dépend du partenaire. [...]. Quand je travaille avec certaines personnes d'un BET sur l'hydraulique, par exemple, ou [...] qui sont des gens très très transversaux, aux approches très ouvertes, on œuvre très très en amont à la fondation du projet, de manière plus collaborative, et pas simplement itérative, en discutant des enjeux dès l'origine. C'est moins évident avec d'autres partenaires. [...]. Certains ont une approche extrêmement technique, donc il est plus difficile de parler avec eux dès le départ ; les choses sont exposées moins clairement, en quelque sorte. » ENT2-L46.*

La **nouvelle génération** de managers est plus apte et ouverte à **diversifier les compétences** requises dans les phases de conception. *« Certains s'ouvrent, ont bien compris, surtout des jeunes en fin de compte, qui bossent en open source. Aujourd'hui ce sont des managers d'équipe et ils comprennent, ils prennent, comme la technique du zapping, ils prennent de l'acousticien, de l'HQE, et ils montent. » ENT3-234.*

En interne, c'est au **chef de projet d'opérer la transversalité**. Au sein d'une même structure, la fluidité d'exécution des phases de conception du projet passe par un management efficace d'un coordinateur qui crée une **synergie de groupe**. *« Il est vrai que*

*l'intelligence environnementale se base surtout sur l'intuition des spécialistes et du chef de projet qui va arriver à "transversaliser" tout ça. » ENT7-L261.*

Il y a pourtant aujourd'hui une **difficulté à recruter** du personnel qualifié pour exécuter des études d'écoconception. *« Je cherche, et je ne trouve personne qui sache faire un FLJ. Je cherche quelqu'un qui a trois ans d'expériences en FLJ ou en STD : personne. » ENT3-L787.*

Cela **complexifie** encore **les rapports** entre les différents corps de métier qui ont des méthodologies de travail différentes. *« Selon la culture plus ou moins transversale du partenaire technique, on peut discuter – ou pas – de la définition des paramètres. Voilà où s'inscrit la difficulté : dans le rapport entre une approche scientifique et une approche plus holistique qui est celle de l'architecte. » ENT2-L59.*

Il est nécessaire de **décorrél**er la **rapidité d'exécution** de la machine, du temps de la réflexion lors de la conception. *« Ce n'est pas parce que l'outil est plus performant et qu'il te permet de faire certaines opérations plus vite que le temps de réflexion et de maturation devient automatiquement réduit à la microseconde. » ENT2-L739.*

#### 4,333 – Contractuel

La **collaboration** entre les acteurs de la construction **n'est pas fluide**. Entre l'urbaniste et le BEE, les maquettes circulent du premier vers le second sans qu'il y ait de retour pour engager un processus itératif. L'urbaniste ne sait pas comment son matériel est utilisé. *« Puis on va avoir des partenaires, et à partir de ce moment-là, comme on a déjà travaillé en amont, on leur envoie la maquette, ils s'en servent (ou pas), je ne sais pas très bien comment (je suis insuffisamment documenté sur la méthode, le travail de ENT18, je l'avoue...). » ENT1-L199.*

L'innovation sociale se fait par l'introduction d'acteurs locaux dans le projet : c'est le **développement territorial**. *« On va essayer de trouver des gens qui sont sur place, dans l'écosystème local, de façon à faire travailler les forces vives locales. » ENT4-L480.*

L'expérimentation est rendue plus facile pour un BE dans le cas où celle-ci est **à la fois MOA et AMO**. *« C'est un bureau d'études qui s'est adossé à un investisseur pour pouvoir faire un bâtiment démonstrateur. » ENT4-L55.*

Les architectes et urbanistes sont **volontaires** pour utiliser des logiciels d'ingénierie. Mais la **répartition des tâches** entraîne un **cloisonnement** empêchant la transversalité des méthodes et outils de travail entre les corps de métier. *« En théorie, ils y ont accès, mais on n'est pas dans le royaume des idées, on est dans le royaume de la réalité quotidienne avec des répartitions de tâches, avec une économie. C'est un obstacle que certains arrivent à franchir : j'ai par exemple beaucoup d'admiration pour ENT6, les architectes ingénieurs, qui nouent des contacts avec des ingénieurs. » ENT10-L806.*

Dans le logement, les promoteurs font **appel au BET après la conception** par les architectes, ce qui ne permet pas d'avoir une **analyse poussée** des problématiques

techniques (structurelle, énergétique, etc.) en amont de cette conception. Pour les BET, la conception devrait se faire dès les phases **en amont d'égal à égal** avec les architectes. *« Parfois oui, parfois non. Nous sommes là pour mettre les tuyaux et nous assurer que cela porte, que cela tienne debout. C'est dommage, on aimerait intervenir davantage en amont, parce que j'ai aussi la conviction qu'il n'y a ni architecte ni ingénieur, mais surtout des concepteurs, et qu'on doit travailler de manière décloisonnée, pour être un maximum intelligent, et apporter même une qualité de service à un client. » ENT7-L46.*

#### 4,334 – Expérience

Notre rapport à l'importance de la question environnementale est grandissant mais c'est une **problématique** qui est **ancienne** et intégrée au métier d'urbaniste. *« Choisir une implantation et un mode de nivellement du sol, c'est aussi une question environnementale, donc fondatrice. Cette question se pose au moins depuis Alberti : on ne peut pas vraiment faire de conception sans être complètement ancré dans les questions qu'on appelle maintenant "environnementales", mais qui en réalité sont de vieilles questions. » ENT2-L32.*

La pénétrabilité des **nouvelles technologies** dans la pratique courante : elles viennent en **complémentarité** et non en remplacement. *« Si j'avais à tester un ingénieur, je l'interrogerais sur l'histoire de sa discipline, et s'il sait en parler, à mon avis, aussi performant soit-il dans les nouvelles technologies, il y aura forcément des points d'entente. S'il me dit : "Ouh là, mais ça c'était avant : aujourd'hui, il y a de nouveaux outils", ce serait rédhibitoire pour moi ! » ENT2-L887.*

La STD en BE se fait souvent en utilisant les fichiers IFC des architectes, cette **pratique d'interopérabilité est aboutie et maîtrisée**. *« Dans le cadre de la STD, parce que nous on utilise VE, Virtual Environnement, qui intègre depuis longtemps les fichiers IFC, en fait. » ENT18-L444.*

Certains urbanistes préfèrent réaliser de l'écoconception **sans systématiquement faire des calculs de vérification**. Pour eux **l'expérience** et les **vérifications empiriques** sont supérieures à la vérification numérique. *« Cette grande façade Sud récupère beaucoup d'apports solaires, on va protéger, par l'extérieur, avec des stores, des protections solaires amovibles, par l'externe, le truc le plus simple du monde. On va faire déborder le R+1, le R+2 au-dessus du rez-de-chaussée, qui sera en retrait, parce que lui est totalement vitré avec les réfectoires, les choses comme ça, donc il faut lui faire une vraie casquette. Tu as des configurations qui sont des choses pour lesquelles le calcul n'est pas nécessaire. » ENT15-L186.*

Le **REX – Retour d'Expérience** permet de récupérer les données de projets réalisés au sein du BET, et d'en tirer les forces et les faiblesses. Cette façon de procéder crée une **culture de l'agence** et permet d'apporter de la plus-value. *« Dans le cadre des concours, on va se baser sur le retour d'expérience, le REX. On va essayer de trouver des opérations équivalentes pour constater les tendances et orienter la conception. » ENT7-L234.* En phase concours, **l'architecte, l'économiste et le BE travaillent ensemble** pour ne pas être

dans des schémas de bâtiments hors normes vis-à-vis du budget. Cette **méthode comparative** se fait grâce au REX, permettant d'installer un **cadre de référence** pour pouvoir aller vite. *« Oui, ça pourrait être ça. Prenons ce parti pris où le bâtiment est déjà éclaté. On raisonne à partir de notre REX (retour d'expérience), en regardant de combien d'euros au mètre carré on dispose à partir du programme. On sait déjà où on peut se placer, si on a beaucoup de libertés ou pas. » ENT7-L520.*

#### 4,335 – Infrastructure

La transversalité serait facilitée par l'**intégration d'ingénieurs** du bâtiment dans les agences, ce qui reste marginal. La transversalité se fait avec des acteurs externes. *« Nous on aimerait bien intégrer l'ingénierie bâtiment et avoir nos propres ingénieurs pour faire nos bâtiments, maîtrise d'œuvre... On ne l'a jamais fait plus en bâtiment qu'en urbain, et c'est vrai qu'avoir des collaborations extérieures peut apporter aussi, c'est parfois plus compliqué mais cela crée de la transversalité. » ENT1-L538.*

L'**intégration** dans une agence de **paysagistes** leur permet de gérer l'approche environnementale au travers de leurs compétences. *« Trois ou quatre paysagistes à l'agence [...] dans le domaine de la qualité environnementale. » ENT1-L565.*

Un **profil hybride** est plus enclin à chercher au-delà des approximations logicielles, par exemple l'ingénieur qui est aussi architecte, ou l'architecte qui est aussi urbaniste. *« Ce sont des personnalités qui, comme par hasard, ont elles-mêmes des profils hybrides, une culture générale, qui se sont à un moment confrontées à la question de l'architecture, et qui se sont ouvertes à des démarches beaucoup plus nuancées. » ENT2-L161.*

La transversalité au sein d'une même structure est créée sur le **modèle anglo-saxon, réputé décloisonné**. Pour de grosses structures, l'intérêt réside dans son implication dans toutes les phases projet. *« À la fois du suivi de travaux, de l'EPC, mais aussi du management de projet, un peu à l'anglo-saxonne, donc depuis la programmation de suivi, avec une certaine continuité, jusqu'à la livraison du bâtiment et éventuellement aux phases d'exploitation. » ENT6-L28.*

Le BIM comme **outil commun** aux différents acteurs de la conception (urbaniste, architecte ou BET) les fait collaborer sur un pied d'égalité. *« Faire du BIM comme chacun dessine, comme nous, architectes, [...] Ça oblige l'ingénieur à faire comme toi, parce que s'il ne fait pas comme toi, il est hors jeu. » ENT2-L777.*

La **R&D** est intégrée dans certains BE misant sur l'**innovation** pour faire évoluer l'approche environnementale. *« Aujourd'hui, la démarche environnementale passe par de l'innovation. Quasiment 15 % du chiffre d'affaires est dédié au Crédit Impôt Recherche, valorisé et validé par le ministère de l'Industrie. » ENT3-L82.* Les BEE mettent ainsi en place un **cercle vertueux d'auto-alimentation** et de développement : le conseil pour la finance, la recherche pour l'innovation, l'audit pour les références, la formation pour la diffusion et la prospection. *« Aujourd'hui, pour qu'un bureau d'études fonctionne, la clé consiste à*

*faire comme vous : je m'autoalimente de façon intelligente. [...]. Le conseil finance, la recherche permet d'être à la pointe, l'audit de maîtriser les cadres référentiels et la formation de diffuser la connaissance et aussi de rencontrer des clients. » ENT3-L113.*

## 4,34 – Réglementaire

### 4,341 – Conformité

Il y a une forte appréhension de la **labellisation** qui est souvent rendue coupable de **déconnecter** le projet de la réalité et de son contexte. Elle se limite au remplissage de critères. « *Le gros risque du Développement Durable, on l'a vu, c'est quand même l'enfermement normatif. Dans le cas des bureaux d'études, ça consiste à cocher des cases.* » ENT1-L262.

Il y a une préférence de l'urbaniste à faire ressortir quelques points forts d'un projet plutôt que de vouloir **remplir toutes les cases**. « *Mieux vaut prendre trois-quatre critères, les tenir et les mettre en avant ; trois-quatre belles qualités, visibles, tangibles, perceptibles, plutôt que de vouloir absolument cocher toutes tes croix et finir avec une bouillie indescriptible.* » ENT1-L292.

La démocratisation et la vulgarisation de la labellisation rendent la question environnementale plus complexe, qui doit faire intervenir une **expertise**, donc un nouveau métier. « *Effectivement, leur traitement normatif est nouveau, cadré par des processus techniques séparés, et fait qu'effectivement cela a rendu plus complexe le processus. Pour résumer, nous, on ne sait pas faire de calculs, contrairement à certaines agences qui intègrent cette compétence.* » ENT2-L3.

Les **imperfections de normes** comme la RT permettent de crédibiliser des projets qui sont en dehors des objectifs de sobriété car ils entrent dans la norme. « *La surenchère normative non seulement n'a pas empêché la médiocrité mais l'a presque favorisée, puisqu'elle la cautionne par le calcul.* » ENT2-L265.

En phase concours, le rôle du BET est limité à **assurer le minimum** structurellement et énergétiquement alors que les critères environnementaux pèsent peu dans les jurys. « *En fait, l'équipe technique, dans un concours, les ingénieurs, sont là, pour que la commission technique ne dézingue pas le projet avant qu'il ne passe au jury. C'est ça le but. Ce n'est pas nous qui faisons gagner un projet, c'est nous qui pouvons le faire perdre.* » ENT11-313.

Dans la même idée, le BET sert dans les premières phases de garantie à l'architecte. **L'un guide, l'autre supporte**. « *Surtout, le BET n'a pas la main, c'est essentiellement l'architecte qui a la main. Mais pas le crayon ! Le rôle du BET est d'assister, d'être le support de la validation technique d'une orientation de projet qui est le fait de l'architecte.* » ENT7-L283.

#### 4,342 – Incitation

Le **cadre** de la conception paraît **restrictif** dans certains cas : petit budget, faible ambition, intensification normative sont d'autant de freins au bon déroulement d'un projet. « *Le cas classique : on est pris entre le manque d'ambition, la maîtrise d'ouvrage, le manque de budget, et néanmoins le cadre normatif qui augmente, et là, comme tout le monde, tu commences à essayer de faire des compromis, des acrobaties.* » ENT1-L270.

Le cadre des concours donne de **nouvelles ambitions** aux agences, qui les poussent à l'utilisation du BIM et des logiciels de modélisation 3D. « *On nous intime de montrer qu'on pourra développer un projet urbain avec les moyens du BIM. Une exigence méthodologique.* » ENT1-L447.

La labellisation pousse le client à la **comparaison multicritère**. Il est préféré une approche plus sensible basée sur la résolution des contradictions avec une optimisation de l'agrégation des critères. « *Aujourd'hui, les choix multicritères poussés de type "c'est celui qui a la meilleure note qui est le meilleur", ça ne marche pas, tu as toujours envie de prendre l'autre projet.* » ENT2-L543. La prise de décision sur ce type de comparaison est un choix **politique**. « *C'est une question politique, humaine : est-il plus important de dire que le projet est mixte socialement ou sobre énergétiquement ?* » ENT2-558.

Dans certaines villes, la MOA publique prend des positions **politiques fortes** qui ne **laissent pas d'autre choix** que d'investir dans une approche innovatrice. Avec notamment l'introduction du BEPOS – Bâtiment à Energie POSitive. « *En travaillant sur cette grande ville, par exemple, il y a une stratégie claire : "Je veux des matériaux bio-sourcés et je veux que tous nos bâtiments soient BEPOS." Quand c'est écrit, il y a des enjeux.* » ENT3-L561.

#### 4,343 – Durabilité

Le **cadre légal** tel que le Plan Local d'Urbanisme a un réel intérêt dans les stratégies à moyen et long terme sur l'intégration d'une réglementation environnementale comme le coefficient de biotope surfacique. « *Au niveau urbain on réalise de plus en plus des études préalables qui étaient auparavant assez rares. Les maîtres d'ouvrage ne peuvent pas concevoir un plan-masse sans avoir fait une étude aéraulique de l'aménagement.* » ENT3-L144.

Pour être viables et durables, les BEE ont la nécessité de se former très vite pour pouvoir suivre le cadre légal des **normes environnementales changeant rapidement**. « *Ce travail s'effectue dans la lignée des certifications environnementales, que ce soit du Leed, du Breeam, du HQE, ou du Well ; pour chaque nouvelle norme, on se forme et on se transforme.* » ENT6-L45.

Pour **l'intégration durable des stratégies environnementales** dans la conception, le BEE est souvent inclus en amont d'un projet dès la phase concours. Cette impulsion doit venir de la MOA s'ils souhaitent que ces stratégies aient de l'impact durablement. « *Très en amont. On est très sollicités en concours. Donc, si la démarche environnementale se*

*développe, ce n'est pas dû à la maîtrise d'œuvre, plutôt à la volonté de la maîtrise d'ouvrage qui en comprend la valeur patrimoniale, mais aussi celle d'usage, et d'exploitation. » ENT3-L241.*

## 4,35 – Social / Institutionnel

### 4,351 – Prise de conscience

L'aspect écologique des projets, introduit il y a 30 ans, a permis de prendre un **nouveau départ** dans les corps de métier du bâtiment. *« À nos débuts dans le métier, il a été fait table rase des experts – peut-être l'aspect le plus intéressant du mouvement sur l'écologie, la performance énergétique et maintenant la ville intelligente. On s'est ainsi retrouvés tous au même niveau, parce qu'il fallait réapprendre certaines choses, ce qui conférait à des jeunes comme nous autant de latitude qu'à des personnes qui pratiquaient depuis trente ans. » ENT13-L15.*

L'enjeu de perméabilité entre les métiers relève de concepts qui dépassent chaque individu, il est **sociétal**. *« Faire le pont avec nos métiers peut s'avérer délicat, et parfois naît un certain désemparement dû au fait que très vite, assez tôt, on a compris que ces enjeux touchaient à des questions essentielles : la société, la croissance, les formes que celle-ci pouvait prendre. » ENT1-L42.* Le monde du bâtiment est très **obtus et conservateur**. Les forces de décision ne sont pas motrices de l'innovation. *« C'est important à savoir, le bâtiment est un monde en proie à un traditionalisme, un conservatisme, un manque d'ouverture intellectuelle, d'imagination et manque de technicité aussi, parce que tous ces gens-là répètent des idées reçues, ils n'ont jamais fait le calcul. » ENT10-L354.*

Il y a une volonté de certaines agences de **montrer l'exemple à la société civile** en prenant l'initiative de projets à la portée des citoyens. *« C'est un message mental fort auprès de la société civile que d'être exemplaires dans ce domaine, pour que les gens sachent qu'ils peuvent agir sur leur environnement, ne pas rester passifs. » ENT4-L546.*

D'autres agences, notamment au niveau urbain, impliquent de plus en plus la **société civile** dans les démarches de prise de décision pour **l'usage des lieux**. *« On s'intéresse donc beaucoup plus à l'usage quand on conçoit des espaces publics, la grande question étant : "Qui va les utiliser ? Comment ? Comment va-t-on les gérer ?", ainsi fait-on des espaces qui sont cogérés par les habitants, co-conçus avec les habitants et entretenus par la métropole, ou conçus par la métropole et entretenus par les habitants... » ENT10-L124.*

Les agences ont conscience que la **marge de manœuvre** est très grande dans le domaine de la construction en termes d'économies d'énergie, mais il n'est pas possible de mettre en œuvre des stratégies à chaque projet. *« Le gain énergétique majeur qu'il nous reste à réaliser réside dans la manière dont on construit : quel matériau, quelles ressources, quel transport, quelle mise en œuvre ? [...] une approche plus hybride, plus complexe, au sens*

*noble du terme, me paraît indispensable. Mais pour l'instant, je ne l'expérimente pas avec tous les ingénieurs. » ENT2-L151.*

#### 4,352 – Perception

L'ingénierie du bâtiment est dite « passionnelle » alors que dans l'aviation elle est rigide. Mais dans cette dernière il n'y a pas la place pour le **subjectif**, un avion est conçu avec un minimum d'apport sensible car il répond directement à ses demandes de sustentation dans l'air et de transport. *« Aujourd'hui, on a un niveau d'empirisme plus élevé sur le calcul du coût d'un projet de bâtiment que sur celui d'un avion. [...] C'est-à-dire que quand on fait un avion, on sait combien coûte chaque pièce, on sait comment on l'optimise. » ENT2-L285.*

Le bâtiment vit dans son **contexte** et ne peut s'absoudre des contraintes qu'il lui impose. *« Il y a tellement de facteurs qui entrent en ligne de compte dans un système d'habitat, dans un système urbain, qu'en réalité une telle force aujourd'hui de l'existant, avec des points durs qu'on ne peut pas modifier, sur lesquels on s'appuie, réduit beaucoup la marge de liberté. On ne fait pas de prototypes in abstracto. » ENT2-L497.*

Les blocages sont en premier lieu dans les **mentalités**. *« C'est davantage un combat de jeu d'acteurs qu'une question de calcul. » ENT2-L295.* La **réputation** pose un problème d'ego alors que chaque acteur souhaite collaborer avec des partenaires de **bonne volonté**. *« il y en a toujours qui sont ouverts et d'autres, totalement fermés. Souvent, ça dépend des cultures. Plus ils sont connus, plus ils disent qu'ils n'ont pas du tout besoin de nous. » ENT3-L207.*

Aller au-delà du label très tôt en s'intéressant au confort puis à l'utilisateur pour revenir à l'essence de l'architecte, qui est de **concevoir pour les personnes**. *« On passait de l'énergie au confort, donc du confort à l'usage puis de l'usage à l'habitant ou à l'utilisateur. Ce processus s'est avéré extrêmement enthousiasmant et, personnellement, je l'ai vraiment vécu ainsi. » ENT13-L70.*

#### 4,353 – Confiance

Le **techno-scepticisme** est courant dans le milieu de la conception, voire de l'écoconception, car les outils numériques sont considérés comme peu fiables. *« L'application de logiciels qui disent "attention, là y a pas de lumière", alors qu'en réalité il y en a. » ENT1-L259.* Le BIM par exemple est selon ces acteurs **surcoté car trop rigide**, ce qui crée des réticences à son utilisation. *« Oui, c'est toujours laborieux. Passer d'un truc à un autre... alors ils vont tous faire croire que c'est le Saint Graal, mais en fait, quand on veut vraiment entrer dans le détail, dans la thermique, eh bien il faut que les cloisons soient bien jointives, il faut que les zones soient bien séparées. » ENT18-L462.*

D'expérience, les techniques numériques ne sont pas convaincantes ; **non précises**, elles n'aident pas à la résolution des problématiques. *« Cela n'apporte pas de réponse. J'ai trouvé des approximations, mais bon... déployer des moyens pareils pour obtenir des approximations, c'est un peu embêtant. » ENT2-L105.*

La collaboration a ses limites : chacun veut défendre son savoir-faire, cela crée une **retenue dans les échanges**. *« Ils préservent aussi leur savoir-faire. On a chacun nos domaines réservés. » ENT1-L594*

Les outils d'aide à la conception étaient d'abord **vus d'un œil méfiant mais se sont intégrés** progressivement dans l'agence grâce à la nouvelle génération. Mais la **confiance en ces nouvelles pratiques** s'installe peu à peu. *« C'est vrai que ces outils ont révolutionné notre manière de fonctionner, et qu'on a été poussés par nos jeunes dans l'intégration des nouveaux process. Parce que ce n'est pas notre culture, on n'a pas été formés comme ça. On regardait d'un œil un peu prudent, c'est un euphémisme, tous les outils qui étaient en mesure de remplacer notre cerveau. Une sorte d'orgueil, c'est naturel, sur nos capacités à concevoir et à faire du projet. Tout ça a quand même énormément changé dans ces 15 années d'exercice. » ENT17-L20.*

#### 4,354 – Volonté

Préférence d'utilisation de **méthodes « traditionnelles »** à main levée à l'utilisation de logiciels de visualisation et modélisation. *« Pour mettre en place cette possibilité d'interprétation, on dessine pas mal de variantes en amont... » L342ENT1 « On dessine beaucoup à main levée. » ENT1-L351.*

Il y a une volonté d'intégrer les logiciels 3D à la conception, mais celle-ci ne **concorde pas avec les missions courantes**. *« On a acheté le logiciel Revit il y a dix ans maintenant... Que l'on n'a jamais utilisé parce qu'on n'a pas eu l'opportunité ou la manne en bâtiment qui nous permettait d'investir du temps. » ENT1-L474.*

Les agences veulent bien faire et s'investir dans une transition environnementale couplée au numérique mais sont très **méfiantes** vis-à-vis des travers que peut comporter la BIMification. *« Nous sommes partagés entre une vraie adhésion sur le fond à la question environnementale, les questions de pérennité, et encore plus de soutenabilité, et une défiance vis-à-vis de la doxa du greenwashing, du green-business, du sentiment d'être envahis d'outils encombrants. » ENT1-L598.*

L'image donnée, le statu quo sont des freins à l'innovation ou même à la nouveauté. **La remise en question** est difficile pour les architectes de bonne réputation. *« Le frein au changement, on connaît, la remise en question. Et l'architecte est encore beaucoup dans l'image, et pas du tout dans l'optimisation environnementale ni dans la valeur d'usage. » ENT3-L218.* Le résultat d'une **mauvaise écoute** de la part de l'architecte de son AMOE coûte **20 % de consommation supplémentaire** à prévoir en phase d'utilisation. *« On définit des critères de consommation supérieurs. Pour arriver à ces critères-là, on va consommer 20 % de plus parce que l'architecte n'a pas voulu faire d'efforts. » ENT3-L650.*

Les autorités locales publiques non formées ou même éveillées aux questions environnementales ne sont pas à même de faire face aux **exigences du privé** négligeant la qualité environnementale. Les annonces de programmes écologiques, comme les

écoquartiers, se limitent souvent à l'**action de communication**. *« Les promoteurs qui sont en train de faire main basse sur la ville râlent sans arrêt en disant : "Ça coûte trop cher" ; et les villes qui ne sont pas formées ni qualifiées, qui, pour sortir leur projet, écoutent le privé, au détriment de la qualité environnementale. » ENT3-L318.*

Le **lobbying** des grands industriels est un **facteur bloquant** important de l'innovation. Quand les **intérêts financiers** privés priment l'intérêt commun et environnemental. *« Pour des raisons diverses, et qui, à mon avis, ne sont pas toutes dépourvues de lobbying, de pressions. Il faut savoir qu'évidemment, si on fait ça, l'industriel perd directement entre la moitié et les deux tiers de sa fourniture. » ENT10-521.*

L'accaparement de l'écologie par la **politique** rend la question moins complexe, avec des **solutions et des raccourcis** tous faits. L'architecture doit être une **contre-culture** en réponse aux méthodes dominantes et simplificatrices qu'impose le **système capitaliste**. *« J'espère surtout qu'on aura les moyens de se rattraper, pour que la question écologique devienne une question politique vraie, sur laquelle bâtir un contre-modèle au capitalisme, ou rebâtir une utopie sociale et urbaine qui puisse aller de pair avec cette grande ambition qu'on a de traiter différemment la planète, et les ressources de cette planète. » ENT13-L93.*

#### 4,355 – Risque

La **question de la responsabilité est bloquante** : l'architecte est volontaire pour faire du travail d'ingénierie, mais il doit aussi en endosser la **responsabilité**, ce qui est moins soutenable sans les diplômes et les références correspondants. *« Dès que tu rentres dans le domaine de la technique, disons de l'ingénierie, plus exactement, du bâtiment, tu rentres en même temps dans le domaine de la responsabilité. Ça, c'est très important. Donc, si tu n'es pas un bureau d'études véritablement compétent, avec les diplômes, les références, les qualifications nécessaires, tu ne peux pas prendre la responsabilité de ton calcul, quel qu'il soit. Donc, tu as besoin quand même, à côté, de quelqu'un qui te garantisse. » ENT10-L830.*

Le cadre réglementaire est un véritable frein à l'innovation, et la **démarche ATEX difficile** à mettre en œuvre car risquée. *« Aujourd'hui, tout l'environnement réglementaire et professionnel des acteurs de la construction est bâti sur la prise de risque minimale [...] donc c'est très rare qu'on arrive à faire des ATEX. » ENT13-57.*

La peur de la déconnexion due à la transition numérique demande à l'architecte un réel **effort d'investissement** pour rester ancré dans le réel. *« Parce qu'il est dangereusement facile d'être déconnecté du terrain, aujourd'hui, on revendique le fait d'y être très ancrés. Cela suppose un effort, parfois insuffisant, donc à renouveler toujours. » ENT1-L57.*

L'ingénieur considère que le **BIM arrive trop tard en conception**. Pendant la phase concours, le minimum des problématiques environnementales est abordé, ce qui ne nécessite généralement pas une maquette 3D en BIM car c'est un investissement lourd. Il y a la volonté de la créer néanmoins en espérant pouvoir la transmettre par la suite. Le BET prend donc un risque en investissant temps et énergie dans le **développement**

**d'une maquette 3D** utile à la conception de stratégies énergétiques qui ne sera **peut-être pas utilisée dans les phases suivantes**. *« Il y a 90 % des dispositions qui sont décidées pendant le mois de conception. Peut-être toutes les bonnes questions sont-elles déjà posées à ce stade [...] Les questions environnementales qu'on se pose ici sont celles qu'on doit poser en phase concours. Mais dans un temps très court. Et qu'on ne se posera plus après, quand on sera en train de dessiner les plans en BIM. J'ose espérer que les entreprises récupèrent la maquette BIM. » ENT7-L570.*

## 4,36 – Technique

### 4,361 – Conception

La question du **patrimoine** est délicate car le temps de la conception pour certains bâtiments était différent dans l'appréhension des problématiques de l'époque qui, elles aussi, différaient. Aujourd'hui, l'orientation d'un bâtiment pour son accès à la lumière est primordiale, hier elle était secondaire. *« Le patrimoine ancien se soucie peu, en définitive, du nord et du sud, disons plutôt qu'il s'en contente, il était plus intégré, plus orienté. Et donc, quand on reporte la question du durable à ces échelles-là... cela engage d'autres problématiques que les pures questions des projections solaires et de l'ombre que font les balcons dans les appartements ! » ENT1-L103.*

Dans les agences d'urbanisme, **l'étude d'ensoleillement** est utilisée de façon qualitative sur SketchUp et laisse le soin au BE de réaliser la mesure quantitative ainsi que le reste de l'étude bioclimatique. *« Il y a le solaire. On n'est pas très précis. SketchUp est très visuel, on ne sait pas l'analyser quantitativement. Il y a plus largement tout ce qui est du domaine du bioclimatisme. [...] On espère que notre bureau d'études saura le gérer. Mais voilà, il s'agit d'une compétence extérieure. » ENT1-L403.* Les logiciels 3D sont utilisés aussi pour visualiser les **effets de masse**. *« On fait de la 3D qui permet quand même de voir beaucoup de choses : des effets de masse... enfin un certain nombre de choses, c'est comme une maquette, mais un peu plus souple, un peu plus interactive. » ENT2-L430.* La question de la **visibilité** à un point donné est étudiée avec des logiciels, ce qui est difficile à faire de manière empirique. *« On a utilisé des modules de MapInfo, Vertical Mapper, qui permettent de définir par rapport à un point donné les zones vues : "Je suis là, qu'est-ce que je vois ?" » ENT2-L441.*

Les **études paramétriques** sont intégrées en amont d'un projet et permettent de **valider les hypothèses** de départ, notamment sur l'ensoleillement, la visibilité. *« Pour nous, l'architecture est conçue à partir d'une logique contextuelle. Et c'est vrai que les résultats des recherches paramétriques aident à fixer les hypothèses de travail. » ENT8-L16.* Elles sont notamment utilisées pour paramétrer le **facteur lumière jour** et la morphologie urbaine, ou de bâtiment avec **l'énergie**. *« il y a une logique paramétrique qui va lier les FLJ, l'épaisseur du bâtiment, les opacités et la consommation énergétique. » ENT8-L36.* *« [...] à quel moment de l'année on devait laisser passer le soleil. Et on est arrivé, finalement, à un dessin avec un mapping plus précis, pièce par pièce. » ENT8-L727.* Le paramétrique est aussi utilisé pour **l'aspect financier d'un projet (BIM 5D)** et permet de tester différents

scénarios, avec différents matériaux et géométries et ainsi tester, dans une logique financière pure, la forme qui aura le rapport esthétique/coût le plus optimal. « *Donc il y avait dans ces projets une logique paramétrique de détecter comment est-ce qu'on pouvait arriver à une géométrie parfaite avec la plus petite dépense.* » ENT8-L609.

Il est reproché au BIM son **manque de flexibilité**, d'être un outil peu maniable, en cas de changement significatif dans un projet très documenté. Les **modifications sont longues** à prévoir donc **coûteuses**. « *Le drame du BIM, c'est que c'est un outil extrêmement peu flexible, très lourd évidemment ; comme on y ajoute des milliers de fonctions, dès qu'on change un petit truc, on s'y perd.* » ENT10-L744.

Une complexification des outils provoque une **complexification du métier**, donc le besoin d'avoir une meilleure technicité. « *Mais à chaque avancée technique, on se rend compte qu'en fait, on ne va pas vers la maîtrise de la complexité : on rajoute de la complexité, et au final une part de la réalité nous échappe.* » ENT2-L66. La complexité des outils rentre en **paradoxe** avec l'aspect participatif des projets car éloigne l'utilisateur non initié aux outils digitaux. « *Sobre et démocratique, ces deux injonctions-là au moins sont absolument contradictoires avec la sophistication de l'outil.* » ENT2-L602. Le BIM rajoute une **complexité** dans les projets qui n'est parfois pas nécessaire. Son utilisation ne doit pas être systématique. « *Je pense qu'en fait, avec les BIM, les Revit, etc., on rajoute des couches, on va complexifier le projet, ce qui n'est pas toujours pertinent à l'échelle du projet.* » ENT4-L437.

**L'augmentation de la technicité** du métier d'urbaniste amène à travailler avec des corps de métier plus pointus comme des thermiciens, des biologistes ou des spécialistes des transports. Par exemple, pour la modélisation de **mouvements de foule**. Cela crée une nouvelle **transversalité**. « *On travaille avec des spécialistes, c'est-à-dire des thermiciens, des botanistes, des biologistes, des spécialistes des transports... parce que le niveau de technicité de ces nombreuses sciences connexes à l'urbanisme est devenu tel que, d'abord, ça devient intéressant, alors qu'avant c'était du blabla, et aussi beaucoup plus technique, donc on a besoin de gens pointus dans tous ces domaines.* » ENT10-L44.

Une **mauvaise perméabilité** est perçue entre les différents acteurs mais également au sein d'une méthodologie. « *Dès lors que l'on veut être un peu subtil et mélanger des dispositifs techniques avec des modes de mise en œuvre que j'appelle "plus doux" – mais qui en réalité sont des modes de mise en œuvre empiriques, l'empirisme étant pour moi une réalité ayant une valeur de preuve au moins autant que le calcul –, on ne sait pas les combiner.* » ENT2-L81.

D'autres trouvent leur compte à utiliser à **la fois les outils paramétriques et les méthodes plus traditionnelles** à main levée. Une **perméabilité** se crée entre le papier et la machine. Cette dernière vient en **complémentarité** du premier pour aider à la décision en phase de conception. « *On va construire une maquette, on va évaluer la maquette, formellement, ou pas formellement ça peut être des ombres portées, ou ça peut*

*être une petite étude paramétrique pour arriver à des formes. Mais il y a un aller-retour entre les papiers et la machine. » ENT8-L304.*

Le paramétrique est aussi utilisé en **aval de la conception**, et vient valider cette dernière. Il sert toujours **d'aide à la conception**, mais cette fois-ci **pour les phases techniques**. Le paramétrage dans Grasshopper permet de choisir le rôle spécifique des panneaux de l'enveloppe. *« On est en train de faire une enveloppe avec Grasshopper, de façon à répartir, en fonction de l'orientation, différentes typologies de panneaux de façades, ceux qui fabriquent de l'électricité avec le soleil, ceux qui laissent rentrer la lumière du soleil, et ceux qui isolent et évitent que le bâtiment ne perde trop d'énergie en hiver. » ENT11-L76.*

La **rapidité** du dessin à l'ordinateur est supérieure à celle du dessin à la main. *« Il y a eu un apport considérable du point de vue des outils qui font que dessiner à la machine est souvent plus rapide que de dessiner à la main, objectivement. » ENT2-L670.*

#### 4,362 – Information

Les **limites de la technique** sont soulevées, car elle rend mal compte des sujets maîtrisés par expérience. *« Aujourd'hui, avec les logiciels actuels, on truque, on est obligé de passer par des feintes, pour arriver à calculer les effets de phénomènes qui sont empiriques, qu'on connaît très bien. » ENT2-L91.* La modélisation de circulation d'air ou la complexité de l'ensoleillement sont des **outils peu développés**. *« Le principal travail du projet urbain, pour moi, c'est de [...] favoriser des typologies qui ont des dimensions autorisant des ventilations naturelles et des ensoleillements multiples. Et ça, ça ne se calcule pas. » ENT2-L253.*

La **communication avec le client** est facilitée par les logiciels de modélisation 3D, par exemple par la réalisation d'un film de navigation de la maquette numérique. *« On fait un film de 10 minutes en manipulant la maquette et en faisant une voix. C'est un procédé très simple, on explique les différentes hypothèses constituant un front bâti sur une rue, par exemple : qu'est-ce que ça implique en termes de vues, d'ombrage, de visibilité du végétal, de vis-à-vis, de largeur de la rue, d'usage de la rue... » ENT2-L458.* Cela permet également **d'intégrer les usagers** au processus de construction lors de séances de concertation. *« Cette vidéo, on la présente en début de séance de concertation, puis les habitants reçoivent le même matériel mais dans le désordre, et ils réagissent sur les hypothèses. » ENT2-L467.*

Des outils numériques et utilisables par tous sont développés pour **l'aide à la collaboration**. Cette méthode est développée pour être utilisée avec les urbanistes pour fluidifier les échanges *« On avait ainsi une surface de plancher par îlot, un nombre de logements par îlot et beaucoup d'onglets similaires ; l'ensemble était relié, avec les principes de répartition entre les différents statuts de logement, le respect de la répartition typologique telle qu'on l'avait un peu énoncée par principe. » ENT12-L199.*

La R&D est d'abord le moyen de **créer de la donnée** qui va produire la connaissance. Elle permet de faire de « **l'abstraction** » qui vient améliorer l'exécution de « projets réels ».

« On a des outils dont on commence à peine à se rendre compte de tout ce qu'on peut faire avec parce qu'en fait on est quand même pris par les projets réels, on ne peut pas faire que de l'abstraction. » ENT4-L328.

La difficulté **d'articulation des échelles** se pallie mieux pour une agence décloisonnée urbaniste architecte. Avoir de la connaissance sur les métiers avec lesquels le travail est fait participe au **décloisonnement**. « Je partage cette idée, ne faire que de l'urbanisme, sans jamais avoir construit un bâtiment, ça pose un problème. » ENT10-L949.

Il existe en France un véritable fossé entre les mondes **académique et professionnel** et une **divergence dans leurs intérêts**. « Le monde de la pratique est désinformé [...] car par exemple il va au MIPIM, mais il ne va pas à la Biennale de Venise. » ENT16-L664.

#### 4,363 – Exécution / Construction

La question de la **durabilité** de la construction peut s'avérer pour certains cas supérieure à celle de l'orientation vis-à-vis de la lumière. « Si l'on arrive à faire des bâtiments qui tiennent cent ans au lieu de trente, peu m'importe que ce soit orienté est, ouest, nord ou sud, le vrai enjeu est d'abord là, sur ce long terme. » ENT1-L118.

La question de l'énergie est centrale car elle est directement liée au **facteur économique dans la construction**, dix ans d'usage peuvent avoir le même coût énergétique que la construction. « Dans le mode de fabrication d'un projet, on retrouve autant de consommation si ce n'est pas maîtrisé que dans dix ans à l'usage. » ENT13-L283.

La **prise en compte de la phase d'exécution** qui prépare à la construction dès la phase d'esquisse ferait gagner en efficacité la gestion de projet. Mais cela nécessite une **fluidité de travail** entre les différents protagonistes. C'est pour cette raison que le dessin d'esquisse n'a parfois rien à voir avec ce qui va être construit. « Toute la relation archi-ingénieur, et peut-être même l'incapacité demain à évoluer de manière plus intégrée, provient de cette manière de concevoir un bâtiment qui ne comporte pas d'études d'exécution dès le départ. » ENT7-L594.

Les BET souhaiteraient que la **phase d'exécution** précédant la construction **soit réalisée par les architectes et le BET** de pair. L'outil BIM rend possible une telle collaboration. Le **système à l'anglo-saxonne est souvent pris comme référence** car plus décloisonné. « Les questions environnementales qu'on se pose ici sont celles qu'on doit poser en phase concours. Mais dans un temps très court. Et qu'on ne se posera plus après, quand on sera en train de dessiner les plans en BIM. J'ose espérer que les entreprises récupèrent la maquette BIM. C'est une manière de concevoir et de représenter qui est plus anglo-saxonne, où les bureaux d'études et les architectes font l'EXE, les phases d'études d'exécution. » ENT6-L573.

2 l'inverse du modèle anglo-saxon, en France il n'y a pas ou **peu de suivi fait entre les phases de conception et celles de construction**. « En France, ils sont séparés. Un clivage existe entre les BET des études conception de la maîtrise d'œuvre et ceux des études

*d'exécution et de fabrication des entreprises, ce sont différents types de bureaux d'études. » ENT6-L584.*

La **ventilation mécanique** n'est pas aussi bénéfique pour le bien-être que la **ventilation naturelle**. *« Si vous allez interviewer mon amie Suzanne Déoux, médecin experte du bâtiment, qui a beaucoup travaillé sur la question de la ventilation, elle vous dira que le seul air propre vient de la fenêtre, il ne viendra jamais de la ventilation. » ENT10-L553.*



## 4,4 – Grands axes communs d'analyse

### 4,41 – Axe 1 : L'intégration de la transition écologique dans les entreprises et agences de notre corpus

*L'intégration de la complexité oblige à une interdépendance des métiers*

**Perysinaki 2018** : Complexité et interdépendance des métiers.

« La prise en compte de la complexité à travers le milieu qui est attestée par les cas étudiés dans cette thèse soulève des questions sur le déroulement du processus du projet à travers une imagination pluraliste qui dépasse une réponse universelle normalisée. Si la complexité se traduit par la prise en compte simultanée des dimensions urbaines et rurales, paysagères et architecturales, quantitatives et qualitatives, elle envisage également le croisement et l'interdépendance des métiers. Ce qui signifie que l'architecte doit – en tant que médiateur – (se) construire une nouvelle identité, développant des compétences en conduite de conception et de négociation. » Résumé page 9.

*Un fort degré d'intégration des études environnementales*

Un fort degré d'intégration de la transition écologique dans les agences d'architectes et d'urbanistes est constaté. Mais dans quelle mesure cette intégration repose-t-elle sur des pratiques numériques opérationnelles et partagées ?

*Les 5 paliers du passage à l'action*

Le modèle de la transition selon Rob Hopkins, auteur du *Manuel de transition : de la dépendance du pétrole à la résilience locale*, le passage à l'action vers la transition, suit plusieurs stades organisés en boucles successives. Un cycle se décompose en 5 étapes :

- 1 – *Starting out* – Initiation
- 2 – *Deepening* – Intensification
- 3 – *Connecting* – Assemblage
- 4 – *Building* – Construction
- 5 – *Daring to Dream* – L'ambition du rêve

Nous avons opéré une évaluation des étapes de transition, chez les entreprises et les acteurs du corpus étudié.

Les scores sont établis comme suit :

- 0 : Pas acquis à l'écoconception numériquement assistée
- 1 : Acquis irrégulier
- 3 : Acquis et démontré par une référence ou plus

La transition dans le corpus d'études

CORPUS D'ÉTUDES								version : 18-avr.-20
Notation :		0 : Pas acquis à l'écoconception numériquement assistée						
		1 : Acquis irrégulier						
		3 : Acquis et démontré par une référence ou plus						
ENTRETIEN N°	ABREVIATION	ETAPES DU CHANGEMENT					Taux de transition	RÉFÉRENCES À L'APPUI
		1er	2ème	3ème	4ème	5ème		
		<b>210 sur 285</b>						
18	Tous corps de métier	53	53	44	36	24	210	
		93%	93%	77%	63%	42%	74%	Pourcentage sur potentiel total (15 points si tout complet)
1	URBA1	1	1	1	0	0	3	Concours urba avec BIM en partenariat
	URBA2							
2	URB5	1	1	0	0	0	2	Concours EDF - Carbone
3	INGE1	3	3	3	3	1	13	Fondateur Iceb - Recherche Clea lumière
4	ARCHI1	3	3	3	3	3	15	Dépôt de brevet - pratique de Grasshooper
5	URB6	3	3	3	1	0	10	Recherche AIGP, TEPOP
6	INGE2	3	3	3	3	3	15	Recherche sur indicateurs
7	INGE3	3	3	1	1	0	8	Méthode basée sur REX
8	ARCHI2	3	3	1	1	0	8	Projets paramétriques irréguliers. Envisage un CIFRE
9	INGE4	3	3	3	3	3	15	Pratique pionnière du paramétrique. Démonstrateurs réalisés.
10	URB7	3	3	3	3	1	13	Expérimentations et démonstrateurs sur différentes ZAC. Pas de paramétrique.
11	INGE5	3	3	3	3	3	15	Paramétrique intégré
	INGE6	3	3	3	3	3	15	Paramétrique intégré
12	PROG1	3	3	1	1	0	8	Enjeux intégrés. Pas de paramétrique.
13	ARCHI3	3	3	3	3	1	13	Exposition Pavillon Arsenal avec FBC. Paramétrique intégré.
14	URB8	3	3	3	3	3	15	Contrat Cifre. Enquête.
15	URB9	3	3	1	0	0	7	Pas de paramétrique
15	URB10							
16	ARCHI4	3	3	3	1	1	11	Publication sur le paramétrique. Externalisation des calculs.
17	ARCHI5							
	ARCHI6	3	3	3	1	1	11	Démarches recherche numérique interne (visualisation). Intéressés par un contrat Cifre.
	ARCHI7							
18	INGE7	3	3	3	3	1	13	Pionnier par exemple sur le coef. de biotope. Pas de paramétrique.

Figure 10 : Tableau comparatif des 5 « étapes du changement », sur le corpus des entretiens – source : Efficacity – P. Villien

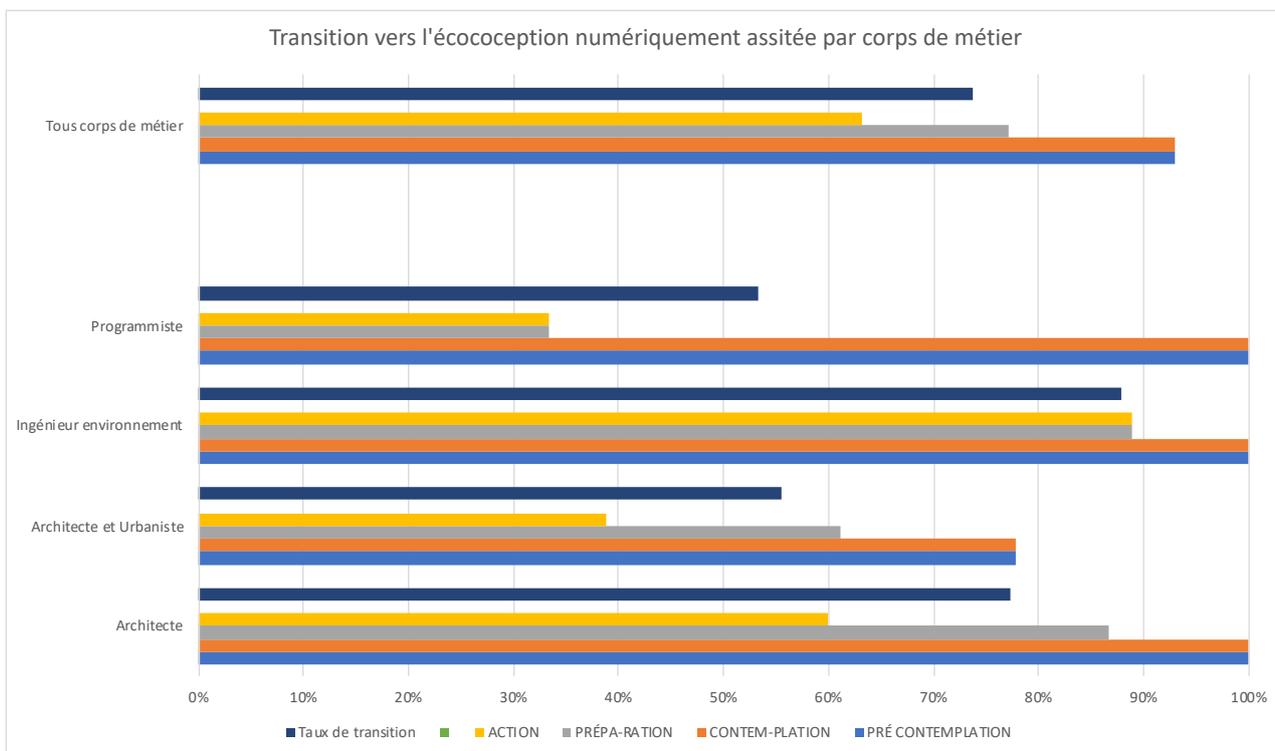


Figure 11 : Transition vers l'écoconception numériquement assistée par corps de métier – source : ISA

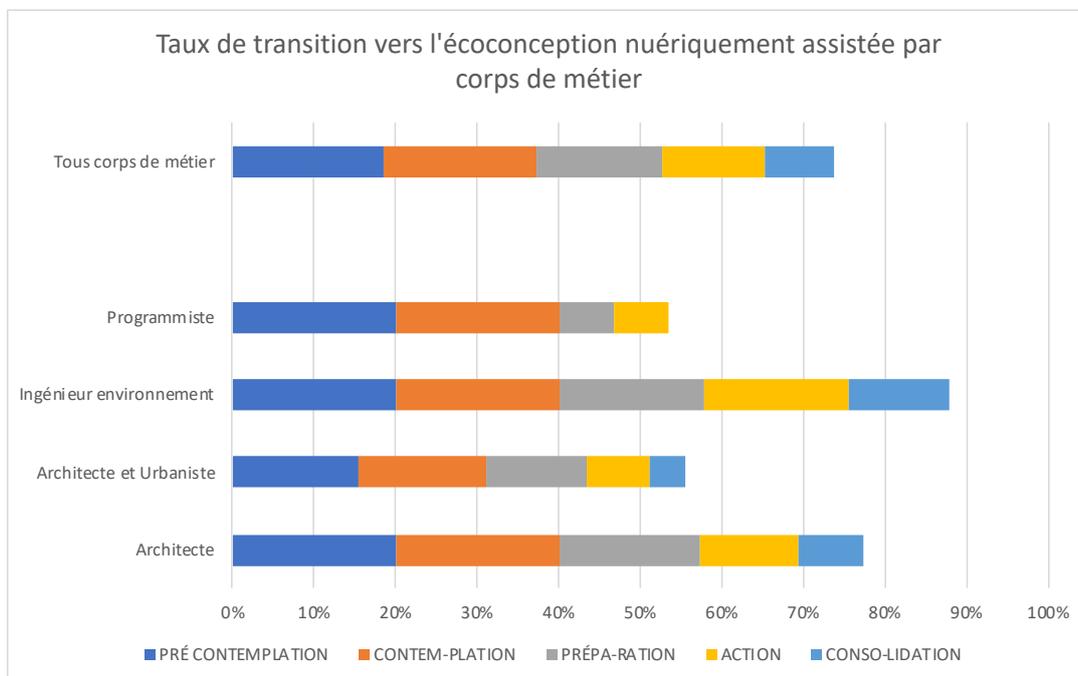


Figure 12 : Taux de transition vers l'écoconception numériquement assistée par corps de métier – source : ISA

Les entreprises de notre corpus ne sont pas toutes au même stade d'action, de production d'études environnementales, de projets écoconçus, de l'écoconception computationnelle comme nous pouvons le constater sur les figures ci-dessus.

Sur la

Figure 12, nous constatons qu'ingénieurs et architectes sont les opérateurs ayant enclenché la transition vers l'écoconception la plus forte. Déjà en Figure 6 : Intégration des outils de conception numérique par corps de métier - source : , nous constatons que ces deux professions ont une bonne intégration des outils BIM, paramétriques et STD.

Les ingénieurs sont le corps de métier pour lequel la transition est la plus aboutie car portée par l'utilisation pour 100 % des interviewés des logiciels de STD. « *Dans le cadre de la STD, parce que nous on utilise VE, Virtual Environnement, qui intègre depuis longtemps les fichiers IFC, en fait.* » ENT18-L444. Leur pratique des outils est consolidée et expérimentée.

Les urbanistes et programmistes quant à eux sont majoritairement dans les phases de contemplation et préparation et encore peu en phase de mise en pratique des outils numériques pour l'aide à l'écoconception. Dans la Figure 6, nous constatons que le programmiste interviewé n'utilisait aucun des outils BIM, paramétrique et STD. Les agences d'urbanisme tentent d'intégrer ces pratiques en amont des projets pour l'aide à la conception, notamment pour les études d'ensoleillement, de visibilité ou les effets de masse. « *On fait de la 3D qui permet quand même de voir beaucoup de choses : des effets de masse [...] on a utilisé des modules de MapInfo, Vertical Mapper, qui permettent de définir par rapport à un point donné les zones vues.* » ENT2-L430.

## 4,42 – Axe 2 : L'innovation numérique bridée

Nous voulons cerner différentes questions qui contribuent ou non à l'innovation environnementale, par le numérique, dans les entreprises de la conception urbaine et architecturale, au sein de notre corpus.

### 4,421 – Les processus de labellisation et le blocage de l'innovation

De nombreux acteurs des Bureaux d'Études Environnementales décrivent une séparation, un clivage des études, entre celles relevant des démarches labellisantes et celles animées par un processus innovant reconnu comme tel. Ce clivage semble être un blocage pour le développement des processus innovants.

#### Les grilles multicritères

La labellisation est vue comme une grille restrictive limitant les marges de manœuvre dans la conception. Il est souvent préféré par les acteurs de se focaliser sur quelques points essentiels plutôt que suivre rigoureusement un label. « *Mieux vaut prendre trois-quatre critères, les tenir et les mettre en avant ; trois-quatre belles qualités, visibles, tangibles, perceptibles, plutôt que de vouloir absolument cocher toutes tes croix et finir avec une bouillie indescriptible.* » ENT1-L292.

Les grilles multicritères rendent la démarche labellisante mécanique, ce qui est souvent reproché. Une approche plus sensible des projets leur fait choisir une approche plus personnelle et plus politique. « *C'est une question politique, humaine : est-il plus important de dire que le projet est mixte socialement ou sobre énergétiquement ?* » ENT2-558.

#### Déconnexion de la réalité

Établir une certification labellisante revient souvent à cocher des cases dont le sens est abstrait. Cette approche par validation de critères provoque une perte du sens contenu dans la conceptualisation de notions environnementales. « *Le gros risque du Développement Durable, on l'a vu, c'est quand même l'enfermement normatif. Dans le cas des bureaux d'études, ça consiste à cocher des cases.* » ENT1-L262.

Et l'utilisation de ces outils produit une déconnexion du réel et *in fine* une restriction sur la manière de penser. « *Quand un outil s'impose et devient, encore une fois, dogmatique, et impacte la manière de penser, il va forcément réduire encore une fois le champ des possibles.* » ENT13-L444.

### 4,422 – Invariants du jeu d'acteurs entre la culture architecturale, urbaine et celle de l'ingénierie

#### S'adapter au cadre mouvant de la transition écologique et de l'écoconception

La conception environnementale s'opère par les acteurs dans un cadre non stabilisé, en constante évolution. Comment les difficultés dues au caractère dynamique du cadre des études d'urbanisme et de maîtrise d'œuvre sont-elles surmontées ?

Comment le jeu d'acteurs s'adapte-t-il en permanence à ce cadre mouvant des études ?

Le fait-il par paliers, par étapes, par phases ?

Au départ de la création de certaines agences, les questions environnementales ne sont pas particulièrement privilégiées. L'approche environnementale a été intégrée tout d'abord dans plusieurs bâtiments énergétiquement pointus dans leurs performances. Puis ce savoir-faire « ruisselle » de manière diffuse dans les études urbaines.

Cependant la forte évolution des outils produit une rapide obsolescence. « *Vous allez passer deux ans pour développer quelque chose, trois ans, et dans trois ans, probablement, on aura cinq logiciels qui feront exactement la même chose que ce que vous êtes en train de faire.* » ENT13-L441.

De plus, le volet de l'environnement dans un projet sert souvent de variable d'ajustement et se retrouve amoindri en cas de manque de budget. « *La variable de négociation de qualité, c'est la démarche environnementale.* » ENT3-L280.

#### Un bon niveau d'identification des enjeux environnementaux dans les agences mixtes architecturales et urbaines

L'environnement dans le cadre de l'urbanisme fait intervenir des sciences et domaines très larges en rapport à l'écoconception. « *L'environnement, [...] cela dépasse la question de l'énergie, c'est un concept lié à la nature, au sens large là encore, qui inclut la biodiversité, le sol, l'eau, les questions d'écoulement de l'air, etc.* » ENT2-L24.

Ces agences sont force de propositions de solutions techniques et alternatives dans la gestion des ressources et de l'énergie. « *On récupère la chaleur non pas par un double flux, mais par des pompes à chaleur qui sont infiniment plus performantes. On stocke la chaleur dans le froid, et on la récupère dans la journée, il s'agit donc d'un stockage journalier, et pas annuel, d'énergie.* » ENT10-L573.

Les agences ont souvent construit des bâtiments publics, sur lesquels elles ont développé une palette large de dispositifs techniques vertueux du développement durable : ventilation naturelle, autonomie énergétique, chauffage eau solaire, récupération des eaux pluviales... Les questions et contraintes environnementales sont donc souvent considérées comme constitutives de l'identité de ces agences.

#### Articulation entre transition énergétique et numérique

La transition numérique est clairement articulée avec la transition énergétique dans de nombreuses agences. Une différence est faite entre la maîtrise de ces questions à l'échelle architecturale et une pratique non satisfaisante à l'échelle urbaine. Les difficultés rencontrées dans le déroulé des études avec les outils numériques, non efficaces et peu interopérables, sont soulignées plusieurs fois.

La circulation des maquettes 3D se fait souvent à sens unique, sans procédé itératif. Ce manque de fluidité est souvent mis en cause de la part des acteurs. « *Puis on va avoir des partenaires, et à partir de ce moment-là, comme on a déjà travaillé en amont, on leur envoie la maquette, ils s'en servent (ou pas), je ne sais pas très bien comment.* » ENT1-L199.

Cependant ces outils numériques peuvent avoir un réel intérêt dans l'utilisation des ressources et de la manière de concevoir la transition écologique. Le BIM peut avoir un vrai intérêt pour des matériaux alternatifs. « *Tu peux très bien faire une maison en pierres massives en BIM.* » ENT2-L814.

Les méthodes de suivi comme l'analyse de cycle de vie sont rendues plus accessibles grâce à ces outils. Le BIM permet de contenir l'information utile à cette analyse. « *La démarche environnementale consiste à définir d'où on part, un niveau de consommation, du neuf ou de l'existant, et à définir des indicateurs pour les tenir : les kilowattheures du mètre carré, des kilos de CO<sub>2</sub>, des mètres cubes d'air, des émissions de quantités de déchets produits aussi bien sur les matériaux que sur l'énergie, ou sur l'eau.* » ENT3-L129.

#### Séparation entre le monde professionnel et les écoles et laboratoires

Une grande séparation est constatée en France, entre les écoles d'architecture et le monde professionnel architectural. La profession architecturale se retrouve « désinformée » vis-à-vis de ces questions environnementales, traitées de manière parfois pointue et adéquate dans les écoles et les laboratoires d'architecture internationaux. « *Dans la profession un verrou ce serait [...] entre l'académie et la pratique, les écoles et la pratique. Je pense qu'en France, le rôle des écoles, peut-être ça change en ce moment. Les grandes écoles américaines, comme Harvard, ont un rôle intellectuel moteur dans les idées, parce qu'ils cherchent toujours à être à la pointe.* » ENT16-L639.

La génération sortante des écoles a tendance à porter ces valeurs et prises de conscience du monde académique. Les compétences engagées dans les projets permettent d'aborder les nouvelles problématiques environnementales de front. « *Certains s'ouvrent, ont bien compris, surtout des jeunes en fin de compte, qui bossent en open source. Aujourd'hui ce sont des managers d'équipe et ils comprennent, ils prennent, comme la technique du zapping, ils prennent de l'acousticien, de l'HQE, et ils montent.* » ENT3-234.

Cette séparation est visible et s'explique du fait de la forte divergence des centres d'intérêt du milieu professionnel avec le milieu académique. Dans la majorité des cas, la logique professionnelle est avant tout financière. « *Le monde de la pratique est désinformé [...] car par exemple il va au MIPIM, mais il ne va pas à la Biennale de Venise.* » ENT16-L664.

#### Le REX – retour d'expérience

Le retour d'expérience est la voie privilégiée et énoncée comme telle par les bureaux d'études. Il s'agit d'une méthode utilisée par les BET plutôt que par les architectes. Elle permet d'instaurer un cadre de référence dans la mise en œuvre des projets, pour comparer la conception courante aux projets passés. Cette comparaison permet en outre à la budgétisation de se faire avec des estimations plus justes. Chaque projet voit ses forces et ses faiblesses analysées pour en tirer le meilleur parti. « *Oui, ça pourrait être ça. Prenons ce parti pris où le bâtiment est déjà éclaté. On raisonne à partir de notre REX (retour d'expérience), en regardant de combien d'euros au mètre carré on dispose à partir du*

*programme. On sait déjà où on peut se placer, si on a beaucoup de libertés ou pas. » ENT7-L520.*

Le REX crée une culture d'agence à travers une mémoire collective. Il participe à son identité et son efficacité. Il lui permet notamment d'aller très vite en phase concours. *« Dans le cadre des concours, on va se baser sur le retour d'expérience, le REX. On va essayer de trouver des opérations équivalentes pour constater les tendances et orienter la conception. » ENT7-L234.*

#### Synergie des connaissances au sein d'une même structure

Le partage des connaissances au sein d'une même structure semble effectif dès lors que l'entreprise bénéficie d'une taille suffisante (à partir de 50 personnes environ).

Ce partage se fait entre des départements, des filiales d'une même entreprise, BET tout corps d'état ou agence d'architecture et environnementale, ou agence d'architecture et d'urbanisme. *« J'ai aussi la conviction qu'il n'y a ni architecte ni ingénieur, mais surtout des concepteurs, et qu'on doit travailler de manière décloisonnée, pour être un maximum intelligent, et apporter même une qualité de service à un client. » ENT7-L46.*

La synergie des connaissances doit être coordonnée par le chef d'orchestre qu'est le chef de projet. Il endosse généralement le rôle de créer de la transversalité au sein d'une équipe et donc de créer ce partage de connaissances. *« Il est vrai que l'intelligence environnementale se base surtout sur l'intuition des spécialistes et du chef de projet qui va arriver à transversaliser tout ça. » ENT7-L261.*

Le modèle anglo-saxon est reconnu comme étant décloisonné. Le but de ce décloisonnement est de partager largement au sein d'une même structure les connaissances nécessaires et suffisantes au suivi de phases de projet le plus large possible. *« À la fois du suivi de travaux, de l'EPC, mais aussi du management de projet, un peu à l'anglo-saxonne, donc depuis la programmation de suivi, avec une certaine continuité, jusqu'à la livraison du bâtiment et éventuellement aux phases d'exploitation. » ENT6-L28.*

#### 4,423 - Les verrous dans le jeu d'acteurs

##### Le techno-scepticisme

Les outils numériques ne s'intégrant que récemment dans les entreprises des différents acteurs de la construction, ils sont sujets à des réticences vis-à-vis de leur utilisation. Les outils de modélisations et d'analyses numériques étant basés sur des modèles qui ne sont pas exacts mais une représentation de la réalité, ils attirent une certaine défiance : le techno-scepticisme. *« L'application de logiciels qui disent "attention, là y a pas de lumière", alors qu'en réalité il y en a. » ENT1-L259.*

Il en résulte une résistance à l'intégration de ces outils et une volonté de maintenir une pratique plus traditionnelle dans les méthodologies, comme le dessin à main levée. *« Pour*

*mettre en place cette possibilité d'interprétation, on dessine pas mal de variantes en amont... » ENT1-L342 « On dessine beaucoup à main levée. » ENT1-L351.*

Ce sentiment est renforcé quand les méthodes maîtrisées de façon empirique ne sont pas vérifiées par la technique. *« Aujourd'hui, avec les logiciels actuels, on truque, on est obligé de passer par des feintes, pour arriver à calculer les effets de phénomènes qui sont empiriques, qu'on connaît très bien. » ENT2-L91.*

Un des volets représentatifs de cette défiance est l'arrivée de la BIMification. Le BIM est aujourd'hui identifié comme un outil permettant de faciliter la pénétrabilité des stratégies environnementales dans la conception en la rendant plus présente et transversale car l'outil BIM permet le suivi de l'information à travers les corps de métier. Sa remise en cause réside dans sa réelle pertinence. *« Nous sommes partagés entre une vraie adhésion sur le fond à la question environnementale, les questions de pérennité, et encore plus de soutenabilité, et une défiance vis-à-vis de la doxa du greenwashing, du green-business, du sentiment d'être envahis d'outils encombrants. » ENT1-L598.*

En plus des urbanistes et des architectes, les BEE sont encore réticents à l'utilisation d'outils comme le BIM. Ils sont considérés comme surcotés et trop peu maniables pour travailler avec efficacité. Si la conception n'est pas réalisée parfaitement, les études STD ne peuvent être réalisées. *« Oui, c'est toujours laborieux. Passer d'un truc à un autre... alors ils vont tous faire croire que c'est le Saint Graal, mais en fait, quand on veut vraiment entrer dans le détail, dans la thermique, eh bien il faut que les cloisons soient bien jointives, il faut que les zones soient bien séparées. » ENT18-L462.*

#### La responsabilité des décideurs : une implication insuffisante

C'est la maîtrise d'ouvrage qui la première a le pouvoir de décider si un projet aura une véritable ambition environnementale ou pas, car ce sont eux qui ont le dernier mot. Cette responsabilité doit être engagée dans la prise de parti pour l'écologie du projet. *« L'approche environnementale s'articule ensuite avec les questions architecturales de définition... mais il y a un travail intermédiaire, qui porte sur l'ambition globale du projet, de la maîtrise d'ouvrage, de tout un écosystème qui fait que le projet relaie une ambition ou pas. » ENT1-L164.*

Dans de nombreux cas, le budget n'est pas suffisant pour pouvoir intégrer et traiter toutes les problématiques, notamment sociales et écologiques. Cela devient alors un choix politique que de savoir à quel domaine accorder le plus d'importance. *« C'est une question politique, humaine : est-il plus important de dire que le projet est mixte socialement ou sobre énergétiquement ? » ENT2-558.*

Mais le problème réside en grande partie dans les mentalités. Les idées reçues et les egos freinent l'innovation. La tradition conservatrice l'emporte souvent sur la remise en question. *« C'est important à savoir, le bâtiment est un monde en proie à un traditionalisme, un conservatisme, un manque d'ouverture intellectuelle, d'imagination et manque de*

*technicité aussi, parce que tous ces gens-là répètent des idées reçues, ils n'ont jamais fait le calcul. » ENT10-L354. « Il y en a toujours qui sont ouverts et d'autres, totalement fermés. Souvent, ça dépend des cultures. Plus ils sont connus, plus ils disent qu'ils n'ont pas du tout besoin de nous. » ENT3-L207.*

Un second facteur clé au blocage de la transition écologique réside dans les intérêts privés financiers et le lobbying exercé par les grands groupes privés qui priment l'intérêt commun et environnemental. *« Pour des raisons diverses, et qui, à mon avis, ne sont pas toutes dépourvues de lobbying, de pressions. Il faut savoir qu'évidemment, si on fait ça, Veolia perd directement entre la moitié et les deux tiers de sa fourniture d'eau. » ENT10-L521.* Les promoteurs sont aussi mis en cause, leur principal objectif étant la rentabilité des projets auxquels ils participent. *« Les promoteurs qui sont en train de faire main basse sur la ville râlent sans arrêt en disant : "Ça coûte trop cher" ; et les villes qui ne sont pas formées ni qualifiées, qui, pour sortir leur projet, écoutent le privé, au détriment de la qualité environnementale. » ENT3-L318.*

Néanmoins un basculement s'opère, notamment au niveau des architectes, urbanistes et BET/BEE qui se veulent moteur d'un changement en profondeur qui vient en opposition aux preneurs de décisions et aux détenteurs de capital pour qui l'aspect pécuniaire l'emporte sur l'empathie. La prise de conscience est là, et progresse mais l'inertie systémique n'est pas en faveur du changement. *« J'espère surtout qu'on aura les moyens de se rattraper, pour que la question écologique devienne une question politique vraie, sur laquelle bâtir un contre-modèle au capitalisme, ou rebâtir une utopie sociale et urbaine qui puisse aller de pair avec cette grande ambition qu'on a de traiter différemment la planète, et les ressources de cette planète. » ENT13-L93.*

Dans certaines villes, les décideurs politiques et publiques ont mis en place des normes et cadres environnementaux clairs et stricts qui ne laissent pas le choix à la MOA d'intégrer ou non les problématiques environnementales mais les imposent. Ce sont de telles politiques qui provoquent un véritable changement dans la manière d'opérer l'architecture. *« En travaillant sur Bordeaux, par exemple, il y a une stratégie claire : "Je veux des matériaux bio-sourcés et je veux que tous nos bâtiments soient BEPOS." Quand c'est écrit, il y a des enjeux. » ENT3-L561.*

Les agences qui font le choix de faire de l'architecture pour les personnes le font avec elles. La société civile est impliquée dans le processus de prise de décision quand l'usage des lieux est mis en avant comme facteur principal à la conception. *« Ainsi fait-on des espaces qui sont cogérés par les habitants, co-conçus avec les habitants et entretenus par la métropole, ou conçus par la métropole et entretenus par les habitants... » ENT10-L126.*

#### Les décalages de stratégies commerciales en phase concours

En phase concours, la compétition pousse les candidats qui se présentent comme des architectes et BET travaillant ensemble à l'emporter avant tout, ce qui les fait se focaliser sur la forme plutôt que le fond. Cela crée un décalage entre le projet rendu en concours et

le projet réalisé par la suite car celui-ci sera totalement modifié. Dans cette phase compétitive, les enjeux environnementaux ne sont que peu traités. *« Le concours, il y a un temps donné, il faut produire, il faut une image. Ce qui est clairement sous-entendu, quand ce n'est pas dit noir sur blanc, c'est : "Ton job c'est de nous aider à gagner les concours. Ce n'est pas [...] comment on fait le projet", en gros. [...] Mais la manière dont la commande est formulée nous met déjà dans une position très difficile. » ENT11-273.*

Le rôle du BET est souvent limité à la simple conception structurelle et énergétique basique avec un très faible poids donné aux stratégies environnementales. Aucune marge de manœuvre n'est donnée au BET dans cette phase, ce qui résulte en des projets pauvres dans la conception de fond. *« En fait, l'équipe technique, dans un concours, les ingénieurs, sont là, pour que la commission technique ne dézingue pas le projet avant qu'il ne passe au jury. C'est ça le but. Ce n'est pas nous qui faisons gagner un projet, c'est nous qui pouvons le faire perdre. » ENT11-313.*

Ainsi, pour pouvoir exister en phase concours, certains BEE adoptent la stratégie de la séduction par le visuel, ce qui leur permet de prendre leur place en phase concours. Cette stratégie permet de gagner la confiance de l'architecte et de pouvoir enclencher une collaboration meilleure. *« C'est une véritable porte d'entrée chez les architectes. Par exemple, pour les concours, ils apprécient tellement nos dessins qu'ils ont envie de les insérer. » ENT6-L160.*

Pour que les stratégies environnementales soient effectivement intégrées en concours pour être ensuite menées de façon durable, il est nécessaire que la MOA impulse d'elle-même la participation d'un BEE en phase concours. *« Très en amont. On est très sollicités en concours. Donc, si la démarche environnementale se développe, ce n'est pas dû à la maîtrise d'œuvre, plutôt à la volonté de la maîtrise d'ouvrage qui en comprend la valeur patrimoniale, mais aussi celle d'usage, et d'exploitation. » ENT3-L241.*

La valorisation des études se fait *in fine* pour les BET vis-à-vis des partenaires et de la maîtrise d'ouvrage.

#### Le risque dans les coûts des études

On dénote une faiblesse de l'investissement « à risque », lors des phases initiales, faisabilité et esquisse, concours.

Les études environnementales se déroulent idéalement en amont des projets, pendant l'esquisse, souvent en situation de concours. Ces études sont considérées comme des investissements à risques par les BET. Les coûts des études en phase de concours sont importants et risqués. Aussi les BET préfèrent ne pas faire d'études poussées à ce stade. Ils développent une stratégie passant par l'oralité, avec de nombreuses réunions mais avec peu ou pas de production d'études spécifiques à ce stade. En phase concours, la stratégie est souvent de miser soit sur un très bon architecte, soit sur plusieurs architectes à la fois car le rapport entre investissement et gain est pour lui relativement faible, voire

inexistant. *« Je crois que malheureusement le BET n'a rien à y gagner. Financièrement. L'architecte va opérer le gros de la démarche commerciale et donc l'essentiel du temps à passer. Aussi l'architecte va-t-il encaisser, en général, l'indemnité du concours, voire la totalité. L'ingénieur se dit qu'il vaut mieux courir un "bon cheval" ou "plusieurs chevaux en même temps", en ayant juste une fonction support, basée sur quelques réunions qui ne coûtent pas trop cher, plutôt que faire un gros investissement à risque. Ce n'est jamais dit, mais c'est clairement ce qui est vécu. » ENT7-L546.*

Le BET va investir en phase concours, ou en phase esquisse du temps et de l'énergie à développer une maquette 3D qui potentiellement ne sera pas utilisée par la suite. Ce genre de production est généralement en dehors du budget pour ces phases mais est nécessaire à la mise en place de stratégies énergétiques pour la suite de la conception. Le BET se retrouve donc coincé entre sa rémunération et la nécessité de développer les outils à la bonne conception. *« Il y a 90 % des dispositions qui sont décidées pendant le mois de conception. Peut-être toutes les bonnes questions sont-elles déjà posées à ce stade [...] Les questions environnementales qu'on se pose ici sont celles qu'on doit poser en phase concours. Mais dans un temps très court. Et qu'on ne se posera plus après, quand on sera en train de dessiner les plans en BIM. J'ose espérer que les entreprises récupèrent la maquette BIM. » ENT7-L570.*

Les surcoûts dus à la mauvaise interprétation de la réglementation, non maîtrisés et non prévus, peuvent aller du simple au double. *« Comme les surcoûts qui arrivent pour des raisons absolument immaîtrisables, qui sont invraisemblables, des interprétations de réglementation, [...] et d'un coup ils font tout doubler. » ENT2-L306.*

#### Le portage de la responsabilité des résultats

La question de la responsabilité des résultats calculés par les logiciels est bloquante. Dans le cas où l'architecte intègre dans sa conception des démarches habituellement proposées par les BET/BEE telles les simulations énergétiques, ou des démarches plus partagées comme l'aide à la conception par l'étude de l'ensoleillement, la simulation de la circulation de l'air, sa responsabilité est mise à rude épreuve car il est plus difficile pour lui de présenter diplômes et références correspondants. *« Dès que tu rentres dans le domaine de la technique, disons de l'ingénierie, plus exactement, du bâtiment, tu rentres en même temps dans le domaine de la responsabilité. Ça, c'est très important. Donc, si tu n'es pas un bureau d'études véritablement compétent, avec les diplômes, les références, les qualifications nécessaires, tu ne peux pas prendre la responsabilité de ton calcul, quel qu'il soit. Donc, tu as besoin quand même, à côté, de quelqu'un qui te garantisse. » ENT10-L830.*

Le cloisonnement entre les métiers et la répartition des tâches est tel que les architectes et urbanistes volontaires d'intégrer de la technicité dans leurs études se retrouvent à devoir externaliser ces compétences. *« On n'est pas dans le royaume des idées, on est dans le royaume de la réalité quotidienne avec des répartitions de tâches, avec une économie. C'est un obstacle que certains arrivent à franchir : j'ai par exemple beaucoup d'admiration*

*pour ENT6, les architectes ingénieurs, qui nouent des contacts avec des ingénieurs. » ENT10-L806.*

Certaines agences souhaitent intégrer des ingénieurs dans leurs équipes pour fiabiliser leurs résultats, mais cela nécessite souvent une grosse structure. *« Nous on aimerait bien intégrer l'ingénierie bâtiment et avoir nos propres ingénieurs pour faire nos bâtiments, maîtrise d'œuvre. » ENT1-L538.*

L'approche environnementale peut être crédibilisée par l'intégration de paysagistes dans une structure. Leurs compétences donnent du poids à des analyses environnementales menées en agence. *« Trois ou quatre paysagistes à l'agence [...] dans le domaine de la qualité environnementale. » ENT1-L565.*

Le problème de la responsabilité peut aussi être porté par la formulation normative imprécise ou non exhaustive conduisant à une mauvaise interprétation. *« La surenchère normative non seulement n'a pas empêché la médiocrité mais l'a presque favorisée, puisqu'elle la cautionne par le calcul. » ENT2-L265.*

Dans un cas général, la responsabilité des calculs sera portée par le BET. Il sert surtout de garantie à l'architecte. Pendant que l'un dessine, l'autre assure. *« Surtout, le BET n'a pas la main, c'est essentiellement l'architecte qui a la main. Mais pas le crayon ! Le rôle du BET est d'assister, d'être le support de la validation technique d'une orientation de projet qui est le fait de l'architecte. » ENT7-L283.*

#### Les décalages générationnels et de formations

Les agences d'architecture sont prêtes, grâce à leur personnel jeune et à haut niveau de qualification, à co-produire des études environnementales de bons niveaux.

Aujourd'hui, les architectes qui étaient les bons théoriciens d'hier se retrouvent sur le carreau du fait de leur manque de connaissances des outils numériques utilisés. *« Moi je le vis en tant que victime, je me dis que c'est absurde, qu'aujourd'hui j'ai des architectes extraordinaires qui travaillent avec un logiciel, et il faut que je trouve d'autres architectes parce qu'ils ne savent pas utiliser le logiciel que l'entreprise me demande. » ENT13-L593.*

Les méthodes traditionnelles restent encore largement préférées, parmi les architectes et urbanistes installés, à l'utilisation de modélisations. *« Pour mettre en place cette possibilité d'interprétation, on dessine pas mal de variantes en amont... » L342ENT1 « On dessine beaucoup à main levée. » ENT1-L351.*

La nouvelle génération permet d'intégrer aux agences de nouvelles approches et de nouvelles façons de penser qui peuvent venir compléter l'expérience et la sagesse des générations précédentes. *« Certains s'ouvrent, ont bien compris, surtout des jeunes en fin de compte, qui bossent en open source. Aujourd'hui ce sont des managers d'équipe et ils comprennent, ils prennent, comme la technique du zapping, ils prennent de l'acousticien, de l'HQE, et ils montent. » ENT3-234.*

On voit apparaître également une forte progression de profils hybrides issus de doubles formations diplômantes architecte-urbaniste ou architecte-ingénieur. Cette nouvelle génération est plus encline à trouver un équilibre entre les méthodes traditionnelles installées et la pénétration des nouveaux outils. *« Ce sont des personnalités qui, comme par hasard, ont elles-mêmes des profils hybrides, une culture générale, qui se sont à un moment confrontées à la question de l'architecture, et qui se sont ouvertes à des démarches beaucoup plus nuancées. » ENT2-L161.*

Aujourd'hui les mentalités progressent et les décideurs sont, pour certains, prêts à faire confiance à la nouvelle génération accompagnée de nouvelles pratiques. L'orgueil étant souvent l'un des points clés dans l'intégration de l'innovation, de la nouveauté, car il y a cette impression que la machine va remplacer l'humain, alors qu'elle doit venir simplement en soutien. *« C'est vrai que ces outils ont révolutionné notre manière de fonctionner, et qu'on a été poussés par nos jeunes dans l'intégration des nouveaux process. Parce que ce n'est pas notre culture, on n'a pas été formés comme ça. On regardait d'un œil un peu prudent, c'est un euphémisme, tous les outils qui étaient en mesure de remplacer notre cerveau. » ENT17-L20.*

#### L'EXE – études techniques d'exécution

Tout au long de la conception, on remarque une déconnexion entre chaque phase du fait que chaque corps de métier a ses tâches qui ont été réparties en amont. Le manque de fluidité qu'il en résulte empêche les concepteurs en amont de se projeter dans les phases précédant la construction. *« Puis on va avoir des partenaires, et à partir de ce moment-là, comme on a déjà travaillé en amont, on leur envoie la maquette, ils s'en servent (ou pas), je ne sais pas très bien comment (je suis insuffisamment documenté sur la méthode). » ENT1-L199.*

Le suivi de projet est simplifié quand la structure est à la fois MOA et AMO, ce qui laisse aussi l'occasion d'avoir plus de libertés. *« C'est un bureau d'études qui s'est adossé à un investisseur pour pouvoir faire un bâtiment démonstrateur. » ENT4-L55.*

La transversalité au sein d'une même structure est créée sur le modèle anglo-saxon, réputé décloisonné. Pour de grosses structures, l'intérêt réside dans son implication dans toutes les phases projet. Cela devient possible pour une structure à la fois architecte et BET. *« À la fois du suivi de travaux, de l'EPC, mais aussi du management de projet, un peu à l'anglo-saxonne, donc depuis la programmation de suivi, avec une certaine continuité, jusqu'à la livraison du bâtiment et éventuellement aux phases d'exploitation. » ENT6-L28.*

Une manière plus intégrée de travailler permettrait d'éviter les besoins d'optimisation lors de chaque transfert entre acteurs. La prise en compte de la phase d'exécution dès la phase d'esquisse ferait gagner en efficacité la gestion de projet. Mais cela nécessite une fluidité de travail entre les différents protagonistes. *« Toute la relation archi ingénieur, et peut-être même l'incapacité demain à évoluer de manière plus intégrée provient de cette*

*manière de concevoir un bâtiment qui ne comporte pas d'études d'exécution dès le départ. » ENT7-L594.*

Les BET souhaiteraient que la phase d'exécution précédant la construction soit réalisée par les architectes et le BET de pair. Le système à l'anglo-saxonne est souvent pris comme référence car plus décloisonné. *« J'ose espérer que les entreprises récupèrent la maquette BIM. C'est une manière de concevoir et de représenter qui est plus anglo-saxonne, où les bureaux d'études et les architectes font l'EXE, les phases d'études d'exécution. » ENT6-L576.* À l'inverse, en France, il n'y a pas ou peu de suivi fait entre les phases de conception et celles de construction. *« En France, ils sont séparés. Un clivage existe entre les BET des études conception de la maîtrise d'œuvre et ceux des études d'exécution et de fabrication des entreprises, ce sont différents types de bureaux d'études. » ENT6-L584.*

## 4,43 – Axe 3 : L'approche théorique et numérique de l'écoconception

### 4,431 – L'appréhension des outils numériques dans l'écoconception

L'écoconception est un concept, une volonté, et une nécessité intégrée depuis de nombreuses années dans les agences et les BET. Son approche évolue bien que sa prise en compte soit ancienne. Les méthodologies de l'écoconception évoluent aujourd'hui avec un gain en technicité. Certains sont attachés à leur expérience et ne souhaitent pas moderniser leur approche tandis que d'autres accorderont leur confiance à des outils numériques. « *Choisir une implantation et un mode de nivellement du sol, c'est aussi une question environnementale, donc fondatrice. Cette question se pose au moins depuis Alberti : on ne peut pas vraiment faire de conception sans être complètement ancré dans les questions qu'on appelle maintenant "environnementales", mais qui en réalité sont de vieilles questions.* » ENT2-L32.

#### Préférence des méthodes traditionnelles

L'approche numérique de l'écoconception n'est pas systématique. Beaucoup d'architectes et urbanistes préfèrent utiliser leur expérience et leur savoir empirique plutôt que de se lancer dans des calculs de simulation. « *Cette grande façade Sud récupère beaucoup d'apports solaires, on va protéger, par l'extérieur, avec des stores, des protections solaires amovibles, par l'externe, le truc le plus simple du monde. On va faire déborder le R+1, le R+2 au-dessus du rez-de-chaussée, qui sera en retrait, parce que lui est totalement vitré avec les réfectoires, les choses comme ça, donc il faut lui faire une vraie casquette. Tu as des configurations qui sont des choses pour lesquelles le calcul n'est pas nécessaire.* » ENT15-L186.

#### Décalage entre l'échelle du bâtiment et de l'îlot urbain

Un décalage entre les approches environnementales à l'échelle de l'édifice et celles des études urbaines est constaté. À l'échelle du bâtiment, il existe des méthodes qui permettent de mesurer l'impact environnemental, comme l'analyse de cycle de vie. « *La démarche environnementale consiste à définir d'où on part, un niveau de consommation, du neuf ou de l'existant, et à définir des indicateurs pour les tenir : les kilowattheures du mètre carré, des kilos de CO<sub>2</sub>, des mètres cubes d'air, des émissions de quantités de déchets produits aussi bien sur les matériaux que sur l'énergie, ou sur l'eau.* » ENT3-L129.

Pour le programmiste, le cloisonnement des professions fait que celui-ci ne s'approprie pas la question environnementale. « *Dans un monde où tout reste assez cloisonné, où il y a des experts de la question environnementale, au même titre qu'il y a des experts de la question des mobilités, du commerce, ou de la programmation urbaine, nous nous retrouvons côte à côte avec une galerie d'experts, dont des experts en développement durable.* » ENT12-L48.

Ces méthodes sont plus de l'ordre de l'expérimentation à l'échelle urbaine, avec par exemple l'intégration dans les PLU du coefficient de biotope surfacique, ou le ratio

d'emprise au sol. « *La pleine terre permet de planter des végétaux de toutes sortes : des arbres qui font de l'ombre, et permettent l'évapotranspiration en été, qui va diminuer de 2 degrés la température du quartier.* » ENT10-L490.

Cependant la gestion de l'eau devient un enjeu important dont les stratégies sont en train de se développer autour des eaux grises. « *La ressource en eau n'est pas garantie, comme on l'a cru longtemps. [...] gérer l'eau de façon qualitative, avec économie, est une chose très intéressante. On a même essayé d'aller vers la récupération et l'assainissement des eaux grises, qui est un processus plein d'avenir.* » ENT10-L496.

La grande difficulté à laquelle font face les études urbaines est leur faible financiarisation, qui ne prend pas en compte les simulations numériques pour les analyses environnementales notamment. Les agences d'urbanisme doivent généralement prendre sur le budget d'autres parties pour pouvoir se financer ces études. « *Les études urbaines, c'est absolument sous-payé, donc dans les conditions actuelles financières, si on met l'argent dans la simulation numérique on ne le met pas dans la conception. C'est impossible, c'est incompatible.* » ENT2-L481.

Il y a cependant un essor de nouvelles stratégies au niveau urbain qui se mettent en place, notamment avec la réhabilitation de friches, ou d'anciens sites industriels et manufacturiers. « *Des gens comme Plateau Urbain, ou La Belle Friche, ou Le Grand Réservoir... sont les nouveaux acteurs de l'urbanisme, entendu différemment. Évidemment, ils ne font pas des plans d'urbanisme : ils préfigurent la vie dans le quartier, développent des usages...* » ENT10-L111.

#### Le BIM : la solution de la transversalité ?

Le BIM est considéré comme maîtrisé ou maîtrisable à l'échelle du bâtiment et les efforts actuels sont dirigés dans plusieurs agences vers la CAO de site urbain. La production en BIM est déjà largement expérimentée et développée dans les agences, mais elle l'est très peu à l'échelle urbaine. Les agences travaillent avec de nombreux experts sur leurs projets, parfois très en amont dans la conception.

Le BIM est l'outil à ce jour qui permet la collaboration la plus aboutie entre les acteurs, il cadre les méthodologies de chaque corps de métier. « *Faire du BIM comme chacun dessine, comme nous, architectes, [...] Ça oblige l'ingénieur à faire comme toi, parce que s'il ne fait pas comme toi, il est hors jeu.* » ENT2-L777.

À l'échelle territoriale les outils numériques, même SIG, sont peu utilisés alors que ceux-ci pourraient permettre l'insertion de données utiles à la prise de décision dans l'élaboration de stratégies à cette échelle. « *L'INSEE est par exemple d'une richesse infinie, on découvre toujours beaucoup.* » ENT12-L305 « *Mais on sent que c'est un vrai sujet, cette question de la maîtrise des outils numériques, à notre échelle un peu urbaine et via le SIG.* » ENT12-L410.

Dans certains cas, la maquette BIM est réalisée à partir de la phase conception jusqu'à la mise en place des réseaux, à l'image des pays anglo-saxons allant jusqu'à l'exécution. Ceci est valable majoritairement pour les agences de grande taille. *« Et on avait une mission plan d'exécution : c'est ce que font les entreprises d'habitude. C'est nous qui avons fait la synthèse, là-bas les entreprises ne font pas de synthèse, pas de plan d'exécution, elles ne font rien, c'est l'archi qui fait tout. » ENT4-L386.*

C'est à l'architecte de s'emparer de son outil, et non l'inverse, pour répondre à des questions auxquelles il n'y avait pas de réponse auparavant. *« L'outil était génial, pour le concevoir on a pris des ingénieurs, on les a mis à une table et on leur a dit : "Il faut développer un script qui fasse ça, ça, ça et ça", et on a développé le script, très bien. Mais la chose intéressante, c'était la question qui était posée. » ENT13-L473.*

Le BIM permet de concevoir avec analyse d'impact des constructions en méthodes traditionnelles. La plus-value venant de la démonstration de la supériorité des méthodes alternatives sur les méthodes dominantes. *« Tu peux très bien faire une maison en pierres massives en BIM. » ENT2-L814.*

Il manque cependant de flexibilité, ce qui en fait un outil difficile à manier, notamment dans les phases amont de la conception où les modifications peuvent être nombreuses. *« Le drame du BIM, c'est que c'est un outil extrêmement peu flexible, très lourd évidemment ; comme on y ajoute des milliers de fonctions, dès qu'on change un petit truc, on s'y perd. » ENT10-L744.*

Il en laisse un grand nombre sceptiques car considéré comme surcoté, avec une confiance accordée trop facilement et trop rapidement. *« Oui, c'est toujours laborieux. Passer d'un truc à un autre... alors ils vont tous faire croire que c'est le Saint Graal, mais en fait, quand on veut vraiment entrer dans le détail, dans la thermique, eh bien il faut que les cloisons soient bien jointives, il faut que les zones soient bien séparées. » ENT18-L462.*

Si bien qu'il en vient à être considéré comme un outil de propagande servant le capitalisme vert et son « greenwashing ». *« Nous sommes partagés entre une vraie adhésion sur le fond à la question environnementale, les questions de pérennité, et encore plus de soutenabilité, et une défiance vis-à-vis de la doxa du greenwashing, du green-business, du sentiment d'être envahis d'outils encombrants. » ENT1-L598.*

#### 4,432 - Le partage des outils numériques de calculs environnementaux

##### Des technologies peu partagées

L'augmentation de la technicité du métier d'urbaniste amène à travailler avec des corps de métier plus pointus comme des thermiciens, des biologistes ou des spécialistes des transports. Cela crée un nouveau besoin de transversalité. *« On travaille avec des spécialistes, c'est-à-dire des thermiciens, des botanistes, des biologistes, des spécialistes des transports... parce que le niveau de technicité de ces nombreuses sciences connexes à l'urbanisme est devenu tel que, d'abord, ça devient intéressant, alors qu'avant c'était du*

*blabla, et aussi beaucoup plus technique, donc on a besoin de gens pointus dans tous ces domaines. » ENT10-L44.*

Le partage des outils et des maquettes 3D se fait majoritairement dans un sens sans processus itératif. Le BET/BEE récupère généralement le matériel de l'urbaniste/architecte. *« On leur envoie la maquette, ils s'en servent (ou pas), je ne sais pas très bien comment (je suis insuffisamment documenté sur la méthode, le travail de ENT18, je l'avoue...). » ENT1-L199.*

L'intégration renforcée de l'utilisation des outils dans les agences et les BET entraîne la complexification des rapports entre ces derniers, qui développent des méthodologies et des rapports aux outils différents. *« Selon la culture plus ou moins transversale du partenaire technique, on peut discuter – ou pas – de la définition des paramètres. Voilà où s'inscrit la difficulté : dans le rapport entre une approche scientifique et une approche plus holistique qui est celle de l'architecte. » ENT2-L59.*

Ce savoir-faire développé en interne et propre à chaque structure provoque une défiance d'un acteur à l'autre. *« Ils préservent aussi leur savoir-faire. On a chacun nos domaines réservés. » ENT1-L594*

À ce jour, le BIM est peu intégré comme outil transversal et permettrait de mettre sur un pied d'égalité les utilisateurs de logiciels. Il y a la volonté de basculer les pratiques mais l'inertie est très forte. *« Faire du BIM comme chacun dessine, comme nous, architectes, [...] Ça oblige l'ingénieur à faire comme toi, parce que s'il ne fait pas comme toi, il est hors jeu. » ENT2-L777.*

#### Vers une démocratisation de l'utilisation des outils

Des outils numériques et utilisables par tous sont développés pour l'aide à la collaboration. Notamment, un « tableau de bord » a été créé permettant le calcul automatique du besoin en école dans une programmation d'extension de quartier par le programmiste. Cette méthode est développée pour être utilisée avec les urbanistes pour fluidifier les échanges *« On avait ainsi une surface de plancher par îlot, un nombre de logements par îlot et beaucoup d'onglets similaires ; l'ensemble était relié, avec les principes de répartition entre les différents statuts de logement, le respect de la répartition typologique telle qu'on l'avait un peu énoncée par principe. » ENT12-L199.*

Certaines agences conduisent des projets de R&D dans l'objectif d'enrichir leur expertise interne mais aussi dans une volonté d'exporter cette connaissance. Le but *in fine* est la démocratisation de ces outils pour utilisation à grande échelle. *« Il s'agit de passer d'un système imaginé artisanalement à un système industriel qui doit être reproductible, rentrer dans notre prix, etc. L'objectif étant de baisser les prix. » ENT4-L228.*

Certaines pratiques d'interopérabilité entre les outils ont abouti, notamment dans le sens maquette 3D de l'architecte vers la modélisation technique de l'ingénieur. *« Dans le cadre*

*de la STD, parce que nous on utilise VE, Virtual Environnement, qui intègre depuis longtemps les fichiers IFC, en fait. » ENT18-L444.*

Le partage des outils est facilité et encouragé par des profils hybrides ingénieur-architecte ou architecte-urbaniste qui ont des sensibilités plus fortes à la transversalité des méthodes et des outils. *« Ce sont des personnalités qui, comme par hasard, ont elles-mêmes des profils hybrides, une culture générale, qui se sont à un moment confrontées à la question de l'architecture, et qui se sont ouvertes à des démarches beaucoup plus nuancées. » ENT2-L161.*

Le partage passe aussi par l'intégration à la structure de corps de métier plus ouverts et généralement considérés comme externes. *« Trois ou quatre paysagistes à l'agence [...] dans le domaine de la qualité environnementale. » ENT1-L565.*

#### 4,433 - Les pratiques des logiciels paramétriques

##### Une pratique désirée mais peu intégrée

La conception paramétrique est prise en France dans ce dilemme : elle est désirée plus ou moins confusément par les concepteurs architectes et ingénieurs mais elle est très peu pratiquée par ceux-ci. C'est un outil qui permet par exemple d'obtenir des résultats et des dessins très rapidement une fois que les scripts ou plugins sont mis en place. *« Il y a eu un apport considérable du point de vue des outils qui font que dessiner à la machine est souvent plus rapide que de dessiner à la main, objectivement. » ENT2-L670.*

Cette pratique est remise en cause car elle provoque une complexification du travail qui peut déconnecter la simulation de la réalité et également faire perdre pied aux non-initiés. *« Mais à chaque avancée technique, on se rend compte qu'en fait, on ne va pas vers la maîtrise de la complexité : on rajoute de la complexité, et au final une part de la réalité nous échappe. » ENT2-L66.*

La sphère d'enseignement anglo-saxonne est beaucoup plus ouverte à cette technologie numérique qu'elle expérimente déjà.

Quand ils sont mis en pratique, les outils paramétriques sont utilisés des deux façons soulevées dans les hypothèses préalables. Ils sont soit utilisés à des fins de scénarisation en amont des études de conception, soit à des fins de validation en aval de ces phases.

##### La scénarisation en amont

Quand les études paramétriques sont utilisées en amont d'un projet, elles permettent de valider les hypothèses de départ, notamment sur l'ensoleillement, la visibilité. *« Pour nous, l'architecture est conçue à partir d'une logique contextuelle. Et c'est vrai que les résultats des recherches paramétriques aident à fixer les hypothèses de travail. » ENT8-L16.*

Le paramétrique intervient en complément des méthodes dites plus traditionnelles, sur papier et à main levée. Il aide à la prise de décision, sans prendre le dessus sur la conception. *« On va construire une maquette, on va évaluer la maquette, formellement, ou*

*pas formellement ça peut être des ombres portées, ou ça peut être une petite étude paramétrique pour arriver à des formes. Mais il y a un aller-retour entre les papiers et la machine. » ENT8-L304.*

Elles sont utilisées également à des fins d'optimisation de la conception, permettant de faire des choix objectivement meilleurs pour l'énergétique, la lumière et le confort de vie en général. *« il y a une logique paramétrique qui va lier les FLJ, l'épaisseur du bâtiment, les opacités et la consommation énergétique. » ENT8-L36. « [...] à quel moment de l'année on devait laisser passer le soleil. Et on est arrivé, finalement, à un dessin avec un mapping plus précis, pièce par pièce. » ENT8-L727.*

L'aspect financier permet également d'être testé en simulant plusieurs matériaux, plusieurs géométries. Cette pratique est généralement couplée au BIM et représente ici sa 5<sup>ème</sup> dimension. *« Donc il y avait dans ces projets une logique paramétrique de détecter comment est-ce qu'on pouvait arriver à une géométrie parfaite avec la plus petite dépense » ENT8-L609.*

#### La validation en aval

Les analyses sont souvent confiées en aval de la conception au BET pour les vérifications structurelles, énergétiques. Celui-ci déplore de ne pouvoir intervenir plus tôt pour avoir un réel impact sur les décisions à prendre. *« Nous sommes là pour mettre les tuyaux et nous assurer que cela porte, que cela tienne debout. C'est dommage, on aimerait intervenir davantage en amont, parce que j'ai aussi la conviction qu'il n'y a ni architecte ni ingénieur, mais surtout des concepteurs. » ENT7-L46.*

Le paramétrique vient aussi pour l'aide à la conception en aval du projet pour valider les hypothèses sur l'énergétique, la lumière, l'orientation. *« On est en train de faire une enveloppe avec Grasshopper, de façon à répartir, en fonction de l'orientation, différentes typologies de panneaux de façades, ceux qui fabriquent de l'électricité avec le soleil, ceux qui laissent rentrer la lumière du soleil, et ceux qui isolent et évitent que le bâtiment ne perde trop d'énergie en hiver. » ENT11-L76.*

## 4,5 – Quelques singularités

### Le dépôt de brevets comme stratégie centrale

L'ARCHI1 développe une stratégie continue depuis une décennie avec des dépôts de brevets, ce qui suppose une stratification interne des acquis et leur conscientisation régulière. « *Donc un travail prospectif a été mené sur une ville utopique qui s'appelait X-city, qui nous a conduits à développer le végétal et les micro-algues, et de là à déposer plusieurs brevets, dont un sur le béton végétal qu'on est en train de développer actuellement, et l'autre sur les micro-algues qu'on expérimente depuis huit ans. En fait, toute l'aventure vient de là.* » ENT4-L123.

Ce procédé est justifié par le fait de vouloir passer d'une forme d'artisanat des outils qu'ils développent à une industrialisation à grande échelle *in fine*. « *il s'agit de passer d'un système imaginé artisanalement à un système industriel qui doit être reproductible, rentrer dans notre prix, etc. L'objectif étant de baisser les prix.* » ENT4-L228.

C'est une branche développée de la R&D qui leur permet de mener de tels procédés. Elle crée de l'abstraction à partir des projets concrets. « *On a des outils dont on commence à peine à se rendre compte de tout ce qu'on peut faire avec parce qu'en fait on est quand même pris par les projets réels, on ne peut pas faire que de l'abstraction.* » ENT4-L328. « *En fait, chaque projet est pour nous un terrain d'expériences, dans les limites de ce que peut admettre le maître d'ouvrage.* » ENT4-L206.

### Les outils de l'écoconception intégrés dans l'agence renforcée par un savoir-faire international

Une architecture innovante par la reconnaissance des facteurs du confort : le cas de l'ARCHI4. Il travaille avec des BET pointus, généralistes et étrangers. Les outils de modélisation 3D sont classiques pour une agence d'architecture développant un univers de formes organiques, souvent curvilignes, Rhinocéros, SketchUp. « *Le départ du travail était sur le fait de se dire qu'il y avait une sorte de dissociation qui existait entre l'organique et l'inorganique, si on veut, entre le plein et le visible, le plein et l'espace.* » ENT16-L47

On note cependant un soin constant porté depuis les origines à la qualité de la représentation, via l'usage constant du logiciel Illustrator, par exemple. Les logiciels de simulation environnementaux internalisés sont basiques, Ecotec par exemple. Il faut cependant distinguer une expérience fondatrice et précoce avec le logiciel Comsol autour des années 2005. Les logiciels de simulations pointus sont déployés par les partenaires BET, comme pour les études aérodynamiques fines. Les simulations de convection de chaleur ont ainsi permis d'influencer la forme de l'architecture. « *Là il y a eu un point important, c'était de se dire qu'on pouvait dessiner l'espace lui-même, par les mouvements des fluides. On pouvait positionner, par exemple, un chauffage à 22 degrés ici et un autre à 28 et puis tout d'un coup ça peut générer des formes.* » ENT16-L112.

On note une grande fluidité des échanges et une grande précocité dans le développement du processus de projet entre l'agence d'architecture et les équipes d'ingénieurs. Le projet de l'architecte inclut les démarches ingénieures. « *Par exemple on a travaillé sur un grand projet, c'est eux qui ont modélisé à la fois le plan-masse, puisque notre plan, le plan général du parc, est basé sur une modélisation des vents dans l'urbain.* » ENT16-L415.

La main-d'œuvre de l'agence est constituée de jeunes architectes internationaux, essentiellement anglo-saxons, venant des écoles où ARCHI4. Cette main-d'œuvre de très bon niveau est bien outillée numériquement et remplit ainsi son rôle, sans le problème engendré par un turn-over important. « *À un moment donné j'avais un Américain qui était très fort, important dans mon bureau [...] Après, il y a les gens de Harvard, de bonnes écoles comme ça qui venaient.* » ENT16-569.

## 5 - Discussions des résultats et priorisation des objectifs

Les entreprises interrogées en sont à des phases d'intégration de la transition écologique très différentes, d'une faible intégration à une forte et active participation. L'enjeu de notre période est d'abord d'intensifier cette intégration. Cette intégration doit se faire à tous les niveaux, et toutes les phases d'un projet : de l'extraction des matériaux à la phase de conception jusqu'à la déconstruction de l'ouvrage construit. Le corpus d'étude nous conduit à nous intéresser plus particulièrement aux acteurs impliqués dans les phases de conception qui vont moduler toutes les autres.

Quelles perspectives de plus forte intégration de la transition écologique dans la conception pouvons-nous attendre à court terme ?

### 5,1 – Donner de la transversalité à l'intégration de la transition écologique dans les entreprises

L'enjeu de la transversalité écologique en phase de conception est très fort : c'est elle qui permettra à un projet d'être écologique dans sa globalité. C'est pour cette raison que depuis les études territoriales, en passant par les études urbaines jusqu'à la conception du bâtiment, de sa structure, de ses stratégies structurelles ou énergétiques, il est nécessaire que la question de l'environnement soit intégrée et partagée par l'ensemble des protagonistes de la construction.

#### 5,11 – Intensifier les études environnementales

Augmenter la production des études environnementales chez les acteurs qui actuellement ne la produisent pas ou peu : les architectes urbanistes et les programmistes.

Déjà notre analyse révèle que ce sont dans ces deux corps de métier que la transition écologique comme études environnementales est la moins avancée, cf. Figure 11 : Transition vers l'écoconception numériquement assistée par corps de métier – source : et

Figure 12 : Taux de transition vers l'écoconception numériquement assistée métier – source : . Les états de pré-contemplation et contemplation sont avérés mais ceux de préparation et action ne sont que peu avancés. L'état de consolidation reste une singularité retrouvée chez un seul urbaniste.

À l'échelle territoriale, les outils numériques, même SIG, sont peu utilisés. Le programmeur évoque le fait que le SIG pourrait être utilisé notamment en couplage avec l'INSEE pour intégrer des données statistiques pertinentes pour l'élaboration de SCoT.

À l'échelle urbaine, les stratégies écologiques sont généralement intégrées de façon empirique, sur des notions connues et vérifiées par l'expérience. Les méthodes traditionnelles, le dessin à main levée restent encore des voies privilégiées de travail, surtout quand les méthodes maîtrisées de façon empirique ne sont pas vérifiées par la technique. La faible financiarisation des études environnementales dans les études urbaines est aussi une difficulté imposant aux urbanistes d'axer plus strictement leur travail.

Ces deux corps de métier représentent pourtant les phases en amont de la conception. À l'échelle du bâtiment, dans la conception architecturale comme dans celle des ingénieurs, la transition écologique est dans un état plus avancé. Des pratiques sont mises en action plus fréquemment, mais pas encore de façon systématique. La consolidation des pratiques, par le développement de la R&D, la vulgarisation des pratiques, le dépôt de brevet ressort dans une minorité de cas.

Ainsi, pour les acteurs de la phase de conception, l'intégration des stratégies environnementales se fait à ce jour en majorité dans les phases en aval et au niveau déjà ciblé du bâtiment. Pour rehausser l'efficacité de ces stratégies, il conviendrait de les établir dans une échelle plus large, au niveau de l'îlot urbain, voire à l'échelle des territoires, extra communale. Soit, en d'autres termes, il est nécessaire d'intensifier les études environnementales plus en amont de la conception.

### 5,12 – Intégrer en amont les études environnementales dans la chaîne de valeur de ces études

Comme nous venons de l'exposer, les études environnementales sont aujourd'hui, quand elles sont intégrées au processus de conception, sensiblement plus présentes dans les phases en aval de la conception. Les outils de simulation environnementale à l'échelle urbaine sont actionnés en aval de la conception initiale, contrairement à ce qui se passe pour la conception architecturale.

Dans la conception architecturale, les stratégies environnementales sont à la fois employées dans la scénarisation en amont (en phase ESQ, APS) et dans la validation en

aval (en phase PRO, EXE) à l'aide d'outils numériques d'aide à la conception. Comme soulevé dans les hypothèses d'utilisation des outils paramétriques, en aval les outils aident à valider des hypothèses de conception telles que la morphologie, l'ensoleillement, l'accès à la visibilité du ciel, la consommation énergétique fonction de l'orientation des appartements. En aval, les outils numériques aident cette fois à la validation de la conception, par exemple en vérifiant que les caractéristiques de l'œuvre remplissent les critères d'un label.

Cette démarche pourrait être étendue à une échelle plus large, au niveau de l'îlot urbain par exemple, avec l'analyse des effets d'îlots de chaleur urbains (ICU) par exemple. La scénarisation se fait sur la morphologie des bâtiments, leurs couleurs, les matériaux employés, la proportion de surface en pleine terre, d'arbustes et arbres plantés. Cela permet de limiter dès les premières phases les effets des ICU en limitant les zones critiques à forte température due à un ensemble de facteurs comme une forte minéralisation. Une fois la conception avancée, la validation peut se faire de manière quantitative en analysant directement le projet conçu pour vérifier que les hypothèses de la scénarisation sont bien valides. Cette méthodologie peut se faire en modélisant l'îlot avec des paramètres, ou avec l'introduction de facteurs environnementaux.

L'intégration à l'échelle urbaine des études environnementales permet d'avoir un impact significatif sur les stratégies écologiques déjà évoluées au niveau du bâtiment. En couplant ces deux échelles, de la morphologie des îlots urbains aux matériaux du bâtiment, l'impact environnemental devient optimal.

Les urbanistes sont tout de même force de proposition dans les stratégies urbaines et ont nombre d'expériences dans l'écoconception, comme la mise en place de dispositifs de ventilation naturelle, d'autonomie énergétique, de chauffage à eau solaire ainsi que sur la gestion des eaux noires et des eaux grises. Certaines agences se considèrent déjà comme pleinement dans un processus écologique. Ainsi, pour donner du poids à ce processus, elles le font porter par des paysagistes par qui passe le volet environnemental. Certaines agences se disent même prêtes à intégrer des ingénieurs de l'environnement pour renforcer le crédit accordé à leur travail.

Il y a une véritable volonté de la part des urbanistes d'intégrer la composante environnementale à leur travail, mais ces bonnes intentions sont souvent contraintes par le faible crédit qui leur est accordé du fait de leur faible responsabilité. Une hausse de la responsabilisation, accompagnée de la nécessaire financiarisation, conduirait les agences d'urbanistes à s'investir plus. Ils le réclament.

### 5,13 – Intensifier le partage de la culture de l'architecte et de l'ingénieur

Il existe aujourd'hui un fort cloisonnement entre les différents corps de métier, qui est maximal entre l'architecte et l'ingénieur. Le dialogue est de manière générale plus fluide entre l'architecte et l'urbaniste puis entre les différents corps d'ingénierie qu'entre ces

deux univers. La divergence la plus forte se fait ressentir entre l'architecte urbaniste et l'ingénieur environnemental.

Ce blocage provient de la répartition des tâches tout au long du projet. Dans les phases en amont de faisabilité et d'esquisse, ce sont les architectes urbanistes qui sont en majorité responsables de la conception. Les BET/BEE sont peu impliqués ou ne servent que de garantie pour le client. Cela rejoint l'idée précédente que les études environnementales arrivent trop tardivement dans les phases de conception. En amont, les BET ne s'occupent que du pré-dimensionnement et du terrassement, le BEE intervient dans le meilleur des cas au titre de conseil en stratégie.

Du fait de l'intégration des études environnementales en aval de la conception, les échanges entre les architectes et les ingénieurs se font souvent à sens unique avec les BEE. L'architecte/urbaniste envoie une maquette au BEE qui l'utilise comme support d'analyse puis qui envoie en retour un rapport d'analyses. Les processus d'itérations entre ces deux acteurs sont peu, voire non existants.

Pour pallier ce déséquilibre, certains architectes et urbanistes ont la volonté d'intégrer dans leur conception des études environnementales de scénarisation. Certains urbanistes mettent en pratique l'usage des outils paramétriques dès les premières phases de modélisation pour les aider à la modélisation. Cette pratique permet d'intégrer dès les premiers jours de conception un volet environnemental, bien que cela reste très qualitatif. Cette prise d'initiative comporte néanmoins le risque du portage de la responsabilité. Ces démarches habituellement pratiquées par les BET et surtout BEE, comme l'aide à la conception par l'étude de l'ensoleillement, la simulation de la circulation de l'air, sont plus difficiles à assumer sans présenter diplômes et références correspondants. Ce risque conduit les agences soit à finalement externaliser ces études, soit à intégrer directement des ingénieurs en agence, mais cela s'est avéré faisable seulement pour les agences de taille conséquente.

Il existe cependant des exemples reconnus de partages de la conception très poussée entre architectes et ingénieurs. Certaines agences ont lié des relations de confiance très efficaces avec des BET qui leur permettent de collaborer dans un processus itératif efficace. L'utilisation d'outils communs comme le BIM favorise ces échanges car il permet de travailler sur un support commun. La présence de profils hybrides ingénieur-architecte ou architecte-urbaniste apporte une plus forte sensibilité au partage des méthodes et des outils.

À l'échelle territoriale et urbaine, le programmiste s'attelle à faire un effort particulier dans le développement d'outils de collaboration, notamment un « tableau de bord » permettant d'impliquer d'autres acteurs comme les urbanistes dans les prises de décisions programmatiques. Ce tableau de bord s'appuie sur des indicateurs à partager entre les acteurs.

### 5,14 – Partager les indicateurs environnementaux

Les indicateurs environnementaux, avec les outils numériques, permettent de créer une base de données partageable entre les acteurs de la conception, des programmistes jusqu'aux ingénieurs et qui peut être suivie et étudiée le long de toutes les phases de l'esquisse à l'exécution. Ces indicateurs permettent ainsi de créer une totale transversalité dans le temps et les protagonistes. Cela pourrait entraîner plus de partage de la production des études environnementales elles-mêmes, avec par exemple l'usage conjoint d'indicateurs qui soient à la fois bioclimatiques, économiques et programmatiques.

Cité précédemment et déjà mis en œuvre par le programmiste, un tableau de bord est utilisé comme outil de collaboration et de travail entre les décideurs politiques, les urbanistes et le programmiste. Ce tableau de bord est d'abord un outil de programmation permettant de prévoir le besoin en structures scolaires dans la conception ou réhabilitation d'un quartier. Il pourrait être aisé d'y implémenter des besoins en parcs, espaces verts ou arbres. Cet outil mériterait alors d'être partagé, au-delà des urbanistes, avec les architectes et les ingénieurs, et pourrait servir de base à l'échelle la plus large des indicateurs environnementaux.

À l'échelle de l'îlot urbain, plusieurs indicateurs sont utilisés par les urbanistes interrogés. Certains concernent le confort de l'utilisateur, comme l'accès à lumière naturelle directe avec le facteur lumière jour, l'accès à la visibilité du ciel depuis la rue ou les bâtiments, le placement des studios mono-orientés, l'épaisseur et la morphologie des bâtiments. Viennent s'ajouter à ces indicateurs de conception des indicateurs réglementaires, notamment dans les PLU tels que le COS – Coefficient d'Emprise au Sol ou le CBS – Coefficient de Biotope Surfaccique. Ces derniers sont quantitatifs donc simples à maîtriser. Certains urbanistes ou BEE vont plus loin dans cette démarche en introduisant des indicateurs plus pointus tels que l'albédo, le ruissellement ou l'ICU – Ilot de Chaleur Urbaine. Ces indicateurs sont mis en place à l'échelle urbaine et peuvent être utilisés par tous les acteurs, même par les architectes, car l'utilisation de toitures ou façades végétalisées a un impact dans leur calcul.

À l'échelle du bâtiment, deux aspects sont aujourd'hui étudiés avec soin : la phase de construction avec son impact environnemental et la phase d'exploitation avec son utilisation énergétique. Dans les deux cas, les quantités observées sont les ressources en matières et en énergie. Pour ces études, l'outil le plus abouti utilisé à ce jour est l'analyse de cycle de vie du bâtiment. Elle étudie l'impact environnemental en termes de quantité de rejet de molécules ayant un impact sur la biosphère (CO<sup>2</sup>, C<sup>2</sup>H<sup>4</sup>, CH<sup>4</sup>, etc.) et en termes d'énergie utilisée, et ce, depuis les phases d'extraction des matériaux, en passant par leur transformation, leur mise en œuvre en chantier et leur phase d'exploitation jusqu'à leur recyclage/réemploi. Ces indicateurs sont partagés par les architectes et les bureaux d'études dans certains cas.

Toujours à l'échelle du bâtiment, on retrouve les indicateurs de confort, comme l'accès à la lumière naturelle, la qualité de l'air ou la régulation de la température. Ces critères sont déjà partagés par les urbanistes et les architectes.

Un indicateur utilisé et partagé par tous est le coût dans son aspect financier. À chaque échelle de travail, l'on retrouve des stratégies d'optimisation de coût allant de la géométrie la plus optimale au niveau urbain jusqu'à l'optimisation structurelle pour l'ingénieur structurel. Un meilleur partage de ces stratégies permettrait d'investir une plus grande partie du budget dans les études environnementales.

Chaque échelle possède des indicateurs qui lui sont pertinents. Une prise en compte transversale de ces derniers permettrait de les réaliser avec plus d'efficacité et d'éviter les nombreux compromis qu'entraîne l'ajustement qu'est aujourd'hui le volet environnemental dans un projet. Cela permet de promouvoir une approche quantitative et donc plus transparente vis-à-vis des objectifs et des décisions à prendre.

## 5,2 – Donner du pouvoir à l'écoconception

### 5,21 – Intégrer explicitement l'aspect environnemental et social au cadre légal

Les politiques publiques sont le moyen le plus efficace d'encadrer l'application de stratégies environnementales dans le domaine de l'architecture. L'objectif est de rendre légitimes, crédibles les volets environnementaux encore trop peu intégrés en phase de conception.

Comme explicité ci-dessus, l'intégration dans les PLU d'indicateurs tels que le COS ou plus récemment le CBS donne des résultats intéressants. Ils fixent des objectifs qui prennent en compte le contexte, donc adaptés à la situation car chaque commune ou communauté de communes le définit de la façon la plus pertinente selon sa morphologie urbaine.

L'intégration de tels indicateurs dans le cadre légal communal leur donne une force inestimable car les décideurs, les acteurs de la construction, ne peuvent y passer outre, en théorie. Elle est cependant délicate car elle peut devenir contraignante, c'est pourquoi la gestion au niveau local, ou même du quartier, est la plus appropriée. De telles décisions doivent être prises à la fois par les élus politiques locaux, et les acteurs de la conception et construction, et révisées régulièrement afin de s'adapter à un contexte en perpétuelle évolution. L'incorporation des indicateurs évoqués plus tôt permettrait de définir un cadre à la mise en place d'études environnementales en phase de conception, à leur budgétisation et à leur valorisation morale. Ainsi, ce type d'études ne sera plus variable d'ajustement mais fera partie intégrante d'un projet.

À ce jour, avec un cadre légal peu développé dans son engagement écologique, c'est aux décideurs locaux et aux acteurs de la construction de prendre cette responsabilité. Dans certaines villes, comme à Bordeaux par exemple, des quotas ont été mis en place pour

l'utilisation de matériaux biosourcés pour les constructions neuves ainsi que le critère BEPOS. Le fait que de tels enjeux soient écrits est apprécié par les urbanistes interrogés.

Quand il faut choisir pour un projet quel aspect entre le social et l'environnemental il faut privilégier, cela devient une décision politique qu'il revient soit aux élus soit aux usagers de trancher. Il y a une volonté de certaines agences de retourner à l'essence de l'architecture qui est de concevoir pour des personnes, ce qui est trop souvent oublié. Elles impliquent alors la société civile dans le processus de prise de décision, le but *in fine* étant de créer des espaces entretenus et gérés par les habitants pour les habitants.

Cependant, aujourd'hui, c'est la maîtrise d'ouvrage qui a le plus d'influence dans la prise de décision car, par définition, elle statue sur la nature de son projet.

### **5,22 – Inciter à un plus fort engagement écologique de la maîtrise d'ouvrage Entre labellisation et processus innovant : des passerelles à identifier et à intensifier ?**

La maîtrise d'ouvrage a une grande responsabilité dans les engagements environnementaux qui seront pris dans un projet. Dans un cadre légal écologique peu ou non défini, c'est elle qui a le pouvoir d'impulser la démarche écologique. Aujourd'hui, encore peu de maîtres d'œuvre font le choix d'intégrer une composante environnementale aux projets. De nos entretiens il ressort un engagement plus fort de la part de la MOA publique ou encore des entreprises du luxe, bancaires ou d'assurances. Les premiers prennent ces décisions découlant elles-mêmes de politiques plus larges sur l'engagement écologique. Les seconds soignent leur image et ont de toute évidence les moyens de se le permettre.

Les objectifs environnementaux de la MOA peuvent être fixés de manière qualitative mais le moyen le plus efficace et transparent est l'utilisation d'outils tels que les grilles de critères, appelées « labels ». Il existe différents types de labels, français ou internationaux, évaluant des critères autour du bien-vivre, du bien-se-loger dans un projet architectural. Les plus connus et répandus sont le Well (international, axé sur le bien-être de l'utilisateur), le LEED – Leadership in Energy and Environmental Design (américain, certification « green building »), BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (britannique, bâtiments environnementaux) ou encore HQE – Haute Qualité Environnementale (français, réduction d'impact environnemental et confort), E+C- - Bâtiment à Énergie Positive (BEPos) et Réduction Carbone (autonome en énergie et faible impact environnemental).

Ces labels ne sont pas imposés ou obligatoires et sont choisis au bon vouloir de la maîtrise d'ouvrage. Ils permettent de fixer une grille d'objectifs clairs avec des données quantitatives à vérifier. Ils représentent donc un moyen simple à mettre en place pour atteindre rapidement des objectifs d'efficacité environnementale, énergétique et de

confort. Il est nécessaire que le budget du projet prenne en compte une telle démarche car une financiarisation trop faible est souvent reprochée pour sa bonne exécution.

Cependant, ce genre de démarche n'est pas toujours apprécié des acteurs de la conception ; en effet, dans plusieurs entretiens, il est souligné que ces grilles sont restrictives et limitent les marges de manœuvre. La démarche devient mécanique et déconnectée du réel dans des scénarios où aurait été préférée une approche plus sensible et politique.

Un autre moyen relevé dans notre analyse d'impliquer la maîtrise d'ouvrage dans une démarche environnementale est d'avoir une entreprise qui soit à la fois MOA et AMO, ou que ces deux entités aient l'habitude de collaborer. Dans ce contexte, il est possible de fixer des objectifs adéquats et de mettre en œuvre les moyens de les atteindre, tant du point de vue financier que technique.

De manière plus générale, quand il est laissé le choix aux architectes ou aux BET de l'équipe avec laquelle ils veulent travailler, cela améliore la fluidité des échanges et donc l'efficacité de l'exécution des stratégies environnementales.

### 5,23 – Rehausser la valeur accordée aux stratégies écologiques

Les stratégies écologiques ont besoin d'être revalorisées autant d'un point de vue financier, en adaptant les budgets à leur importance, qu'éthique, en leur accordant l'intérêt qu'elles méritent.

La financiarisation des études énergétiques et environnementales est sous-employée. La question du coût est souvent évoquée comme un facteur limitant à la mise en place de telles études. L'urbaniste a la rémunération la plus serrée et n'allant pas à la hausse, alors que plus de technicité lui est imposée. Il doit faire le choix d'accorder plus ou moins de moyens à certains domaines sans pouvoir avoir une stratégie globale sur ces aspects. Les bureaux d'études prennent le risque d'investir, dans les phases en amont, du temps et de l'énergie au développement de maquettes 3D hors budget, mais nécessaires à la mise en place de stratégies énergétiques pour la suite de la conception : ceci les met dans une position délicate. Ils doivent soit garantir le strict minimum et rester dans le budget, soit prendre le risque d'initier des études qui ne seront pas financées ou partiellement dans les phases suivantes. Cela rejoint la nécessité d'initier le plus en amont possible les études environnementales.

Ce phénomène s'observe particulièrement en phase concours où les stratégies commerciales sont en décalage avec les problématiques actuelles. Les concours d'architecture se focalisent moins sur les stratégies de fond que sur les images, car les critères observés sont avant tout esthétiques. Avec la place et l'énergie investies dans ces concours par les agences, ils pourraient être de véritables moteurs à l'innovation. C'est pourquoi il est nécessaire, lors de cette phase, de valoriser les études énergétiques de fond,

sans tomber, comme c'est souvent le cas actuellement, dans une logique de capitalisme vert, le « greenwashing », ce qui est reproché par plusieurs interviewés.

Certaines agences ont mis en place l'utilisation dès la phase concours d'outils paramétriques pour les études morphologiques d'ensoleillement ou énergétiques, et en font un argument de plus-value. Ils montrent donc que de telles pratiques sont compatibles avec la rigueur et l'exigence nécessaires. D'autres utilisent le REX – Retour d'Expérience – pour gagner en rapidité et en efficacité. Cela permet à l'architecte, l'économiste et le bureau d'études de travailler ensemble pour réaliser un projet cohérent vis-à-vis d'un budget, en ayant un cadre de référence pour installer une méthode comparative.

Il existe des concours intimant de l'innovation, en intégrant par exemple l'utilisation de méthodes BIM au niveau urbain. Si les stratégies environnementales suivent le pas, cela peut donner l'impulsion à la maîtrise d'ouvrage d'intégrer un bureau d'études environnemental dès la phase concours. Certains de ces derniers ont d'ailleurs développé des stratégies de séduction, avec des visuels appréciés par les architectes, afin d'être plus considérés et crédibles.

La valorisation morale de la mise en perspective écologique d'un projet passe aussi par un travail au niveau des mentalités et des egos, qui se complaisent à appliquer des méthodes conservatrices qui ne se remettent pas en question. Les témoignages rapportent que, dans de nombreuses collaborations, le scepticisme vis-à-vis des études environnementales reste très fort, certains refusant de les intégrer même partiellement à un projet. Il s'avère difficile de changer des habitudes et des pratiques utilisées de longue date.

La remise en cause doit aussi se faire dans l'influence qu'ont les grands industriels privés, le lobbying et autres promoteurs, dont l'intérêt est avant tout financier, primant les intérêts communs et environnementaux. Ces entités concentrent leurs efforts moins sur la viabilité que sur la rentabilité d'un projet. Contre-intuitivement, cette avidité peut s'avérer valorisante et motivante, quand il est reconnu que des projets labellisés ou « étiquetés » écologiques se vendent 5 à 10 % de plus qu'un même bien sans étiquette : la valorisation monétaire entraîne la valorisation morale.

### **5,3 – Mettre la technique et les outils numériques au service de la transition**

La tendance actuelle est à l'utilisation des outils numériques pour l'accompagnement de l'écoconception. Il existe un véritable enjeu et un réel investissement dans ces outils nouveaux pour exalter l'efficacité des études environnementales.

La difficulté provient de cette question : comment prendre en compte la « dimension holistique » du développement soutenable dans les processus de l'écoconception ? Nous

pouvons suivre pour cela l'exemple du corpus des Global Award for Sustainable Architecture<sup>6</sup>.

**Perysinaki 2018**, Aliki Myrto Perysinaki, *Evolution du processus de création en architecture face aux impératifs du développement durable : vers une théorie du process pour des temps écosophiques*, thèse sous la direction de Yann Nussaume et de Jana Revedin, 620 pages, téléchargeable : Perysinaki 2018<sup>7</sup>

### 5,31 – Fiabiliser l'utilisation des outils numériques d'aide à la conception

Le scepticisme évoqué pour les études environnementales se retrouve également vis-à-vis des outils numériques, nous parlons de techno-scepticisme. Ces outils souffrent d'un manque de confiance de la part des différents acteurs qui les utilisent peu.

Les outils de modélisation et d'analyse numérique sont basés sur des modèles théoriques qui sont une représentation de la réalité. Cette représentation s'appuie sur des hypothèses, comme celle de la linéarité ou du caractère négligeable d'un argument sur un autre. Ces hypothèses conduisent à des approximations de la réalité à défaut de ne pouvoir en avoir une représentation exacte. C'est pourquoi il est nécessaire de manipuler de tels outils de modélisation avec précaution, de même que l'on manie des modèles théoriques courants (Lois de Newton, Lois de la thermodynamique) avec du recul et un avis critique sans leur accorder une confiance aveugle. Le techno-scepticisme peut donc se comprendre pour des personnes non initiées à des modèles théoriques et scientifiques, qui ont peu de culture scientifique, mais ne devraient pas justifier un blocage à son utilisation. Le principal risque est de laisser le modèle prendre le dessus dans la prise de décision, il doit rester un outil d'accompagnement et d'aide à la conception.

Dans l'analyse de l'intégration des outils numériques dans le corpus d'étude, il est effectivement constaté que ce sont d'abord les ingénieurs, puis les architectes – dont certains sont architectes-ingénieurs – qui utilisent les outils numériques d'aide à la conception, avant les urbanistes et programmistes. Nous remarquons également que peu de logiciels sont utilisés dans la conception urbaine, donc une culture moins intense des outils imprègne la profession. Le ressentiment vis-à-vis des outils numériques est d'autant plus fort quand les méthodes maîtrisées de façon empirique ne sont pas vérifiées par la technique. Certains bureaux d'études sont aussi réticents à l'utilisation de certains outils comme le BIM qui est considéré comme trop peu maniable, notamment pour les modifications et les études STD à réaliser directement dessus. Si la conception n'est pas

---

<sup>6</sup> Pour la liste des primés.es : <https://www.citedelarchitecture.fr/fr/article/global-award-sustainable-architecture>

<sup>7</sup> Thèse précisant la complexité de l'écoconception environnementale et l'interdépendance des métiers. Voir bibliographie détaillée sur l'évolution de la profession architecturale et acteurs de la construction, pages 545-550.

parfaite, cela peut entraîner de nombreuses erreurs. Certains outils sont cependant plus souples que le BIM.

Pour fiabiliser les outils, il est nécessaire dans un premier temps d'éclaircir leur utilisation, via des formations par exemple, en rappelant que ce ne sont que des outils parmi d'autres et qu'ils ne peuvent remplacer le travail du professionnel. Une fois ce recul pris sur leur utilisation, il convient de comprendre que derrière ces outils qui constituent des boîtes noires, il y a des modèles théoriques qui sont une approche fidèle mais approximée de la réalité. Ainsi, ils ne détiennent pas une « vérité absolue ».

### 5,32 – Rendre les outils numériques moteur de l'écoconception

L'écoconception est une notion intégrée depuis de nombreuses années dans les agences. Elles appliquent des stratégies de ventilation naturelle, de récupération des eaux ou sur l'orientation des bâtiments vis-à-vis de l'ensoleillement. Ces stratégies sont appliquées et vérifiées de façon empirique, et intégrées dans une culture d'agence dans un REX, par exemple. L'arrivée récente des outils numériques lors de ces dernières années a créé des transformations profondes dans la manière de concevoir un projet, notamment dans les entreprises qui avaient des prédispositions à l'utilisation de ces nouveaux logiciels.

L'utilisation de ces outils ouvre un nouveau champ des possibles qui n'était pas accessible avec les méthodes plus traditionnelles. En phase de modélisation, le dessin peut être exécuté plus rapidement, pour qui n'a pas l'habileté de l'opérer à la main. Il est possible d'intégrer de l'information utile à la bonne réalisation du projet, des grandeurs physiques telles que la masse volumique, ou des coefficients pertinents (alédo, régulation thermique, etc.).

Ces outils ont l'avantage d'être accessibles par tous les corps de métier de la conception. De cette accessibilité peut naître un partage facilité, puis une collaboration améliorée. Cette tendance a commencé notamment avec des outils de représentation 2D tels que Autocad, Illustrator, elle prend de l'ampleur avec les outils 3D comme SketchUp, Rhino, Revit. L'apparition récente d'outils 4D de phasage, 5D de financiarisation, 6D d'énergétique et 7D d'exploitation facilite et rend possible l'écoconception avec nos fameux outils « BIM » – Building Information Modeling –, par la « modélisation des données du bâtiment » et par les outils paramétriques.

L'arrivée de ces outils complexifie le déroulement d'un projet, et ajoute de la technicité aux métiers qui utilisent ces outils. L'enjeu d'intégration de ces outils complexes est cependant primordial car ils permettent de répondre à la complexification des problématiques actuelles découlant de la prise de conscience que notre modèle de fonctionnement actuel dans le domaine de la construction n'est pas viable. La résilience écologique passe par une maîtrise contrôlée de nos ressources limitées, de l'optimisation de l'utilisation de l'énergie, du cycle de vie de matériaux impactant l'environnement.

C'est pour cette raison que les outils numériques utilisés de manière intelligente et appropriée, comme pour la scénarisation dans les phases en amont de la conception et pour la validation en aval telles qu'elles sont déjà pratiquées par certains concepteurs, permettent de répondre de manière efficace aux problématiques environnementales actuelles. Cette pratique étendue à tous les corps de métier de la conception, avec un partage renforcé des outils, avec celui des indicateurs donne de la cohérence et de la consistance à une stratégie écologique globale. Les méthodes traditionnelles ne doivent pas être remplacées par les outils numériques, mais accompagnées.

### 5,33 – Promouvoir la place accordée à l'académique

#### **Vers un rapprochement entre profession et écoles et laboratoires ?**

À l'image du cloisonnement que l'on retrouve entre les corps de métier professionnels de la conception architecturale, le secteur professionnel et le secteur académique sont deux domaines peu perméables l'un à l'autre. Les échanges interinstitutionnels ne se font pas de manière naturelle, ni de manière systématique. Ils sont plutôt de l'ordre du marginal. La profession architecturale se retrouve ainsi désinformée des questions environnementales, qui sont pourtant traitées de manière pointue et adéquate dans les écoles et les laboratoires d'architecture internationaux. Les intérêts de ces deux institutions diffèrent, quand l'une s'intéresse aux biennales d'architecture, l'autre préfère le MIPIM – Marché International des Professionnels de l'IMmobilier.

Dans notre corpus d'étude, seuls quelques acteurs sont en lien avec le monde académique, et ce de différentes manières. Soit les professionnels – urbanistes, architectes et ingénieurs sont tous trois concernés – cumulent aussi une fonction académique, comme enseignant, maître de conférences, intervenant, etc. Soit le lien se fait via la recherche, en partageant directement des projets avec des universités ou en mettant en œuvre des contrats CIFRE, qui permettent un rapport privilégié avec un laboratoire de recherche. Soit, le cas le plus rare, les professionnels ont la triple casquette enseignant, chercheur et architecte/ingénieur.

Le déploiement d'actions de recherche interne en lien avec une stratégie d'agence est constaté. La voie souvent évoquée consisterait à ne pas s'isoler avec une R&D très développée en interne. Il s'agirait plutôt de partager certaines tâches d'exploration avec d'autres acteurs professionnels concurrents. Une stratégie de « réseau » pourrait ainsi être envisagée, afin de coordonner les efforts et les avancées de multiples entreprises, par exemple à propos des outils de simulations numériques de l'écoconception du projet urbain.

Des enquêtes conjointes pourraient être menées dans plusieurs agences d'architectes et d'urbanistes, afin de confirmer les hypothèses partagées sur les verrous actuels. Une veille mutualisée pourrait être mise en place sur certains logiciels d'aide à l'écoconception ou de simulations environnementales.

Certains s'inspirent du modèle anglo-saxon, plus ouvert, pour lequel les échanges avec le système académique sont fluides et favorisent l'émulation. Ce partage privilégié de données, de connaissances induit chez les professionnels une conscientisation plus développée, et un double engagement plus poussé dans les transitions écologique et numérique. Cela peut se constater par exemple avec l'utilisation plus soutenue des outils paramétriques dans la scénarisation de projet, comme aide à l'écoconception, ou par le fait que de nombreux architectes français enseignent à l'étranger plutôt qu'en France. Certains acteurs de notre corpus ayant l'expérience de l'enseignement en France et à l'étranger témoignent de ce décalage.

Le domaine académique est réputé être plus à la pointe et plus pertinent à l'égard des problématiques environnementales actuelles, notamment avec l'apport que constitue la recherche. Le domaine professionnel a plus d'inertie, car il est plus restreint par les conditions financières. Les coutumes de conception et les traditions culturelles des domaines architecturaux et urbanistiques jouent aussi un rôle crucial.

#### 5,34 – Faire confiance à la nouvelle génération de concepteurs

Comme évoqué ci-dessus, les sphères enseignante et étudiante du monde académique sont très proches et elles semblent s'adapter rapidement aux problématiques écologiques en pleine transformation. Elles sont plus perméables et plus réactives, car plus dégagées des enjeux financiers du monde professionnel.

La nouvelle génération d'architectes et ingénieurs a bénéficié dans son programme de formation d'une plus grande conscientisation de la question environnementale que ce qu'ont reçu les générations précédentes, actives maintenant dans les entreprises. Par ce biais, la nouvelle génération pourrait contribuer à réduire l'écart entre le monde professionnel et académique. Notamment, ils représentent un nouvel apport de connaissances pour l'entreprise qu'ils intègrent à la sortie de leur formation. Une dynamique écologique viendrait compléter l'expérience et le savoir-faire conceptuel des générations précédentes.

Dans certaines agences, il est fait le choix de donner des responsabilités à de jeunes chargés de projet. Ils possèdent une vision transversale et ils sont capables de manier les nouveaux outils numériques. Ces jeunes professionnels concilient les méthodes traditionnelles avec les enjeux écologiques d'un projet. Cette vision transversale est d'autant plus nécessaire que la nouvelle technicité des métiers introduite par la normalisation des enjeux environnementaux conduit à travailler avec des compétences métiers très pointues, comme celles des thermiciens, des biologistes ou des spécialistes des transports.

Du fait du gain en complexité des métiers de la conception, les nouveaux formés sortent d'écoles de plus en plus prestigieuses, écoles qui ont fait le choix de s'emparer des problématiques énergétiques et environnementales et d'en faire leurs piliers pour leur enseignement supérieur. Nous constatons notamment une forte progression de profils

hybrides issus de doubles formations diplômantes, architecte-urbaniste ou architecte-ingénieur. Ces profils sont plus enclins à trouver un équilibre entre les méthodes traditionnelles installées et les nouveaux outils. Leur sensibilité leur permet de comprendre l'intérêt de la conciliation de l'usage innovant de ces outils avec les méthodes antérieures, dans de justes proportions.

## 6 – Conclusion

### 6,1 – Conduite de l'analyse

Cette étude a contribué à identifier, catégoriser et prioriser les facteurs de la transition écologique dans les entreprises. Nous sommes partis de la conception architecturale pour aller vers l'écoconception numériquement assistée, ceci au travers de 18 entretiens menés auprès des acteurs de différentes professions. Dans cette étude, 18 entretiens d'environ une heure ont été conduits auprès de 7 architectes, 8 urbanistes, 7 ingénieurs et un programmiste avec une grille de questions orientées préalablement, laissant ensuite le choix à l'interlocuteur de développer les aspects qu'il juge pertinents. Cette grille de question est élaborée à partir des hypothèses initiales de l'examen, sur les freins et les moteurs à l'écoconception. Le corpus choisi est composé à dessein à parts équilibrées de concepteurs de la transition écologique. Le choix a été guidé par la réputation et l'ampleur de leur engagement écologique. Ces acteurs attestent d'un haut niveau dans leurs disciplines professionnelles respectives. À la suite de l'élaboration de la grille d'entretien, du choix du corpus, de la menée des interviews, ces derniers ont été retranscrits à l'écrit puis relus et enfin consolidés pour lisser les imperfections de la langue parlée et ainsi donner aux entretiens un aspect plus écrit.

Après avoir identifié les freins et moteurs à l'écoconception dans ces entretiens, nous les avons catégorisés selon des thèmes identifiés. Puis, à travers le développement des corrélations entre les différentes thématiques, nous avons essayé de comprendre les interdépendances entre les freins et les moteurs, afin de prioriser des objectifs et d'en discuter les résultats. Les résultats de cette étude peuvent être utilisés comme lignes directrices par des chercheurs ou par des acteurs de l'écoconception. Nous nourrissons l'espoir, ainsi, de contribuer à accélérer la transition écologique de ce secteur.

### 6,2 – Synthèse

En vertu des entretiens menés, la mise en place de l'écoconception est une approche soutenable qui peut réduire l'impact environnemental des constructions et des aménagements, et ce dès les phases amont. Cependant, de nombreux obstacles entravent la bonne conduite de l'écoconception. Dans cette étude, les défis liés à l'élaboration des stratégies environnementales soutenables ont été abordés. Les enjeux de l'intégration des outils numériques d'aide à la conception ont été mis en lumière. Par conséquent, l'étude a mis en avant des objectifs nécessaires à tenir. Ils pourraient promouvoir la transition écologique dans les agences et les bureaux d'études, et donner aux futures analyses des pistes de recherches, pour identifier des problématiques plus ciblées.

Au premier examen, l'intégration de l'écoconception dans notre corpus est significativement hétérogène. Les bureaux d'études environnementaux appliquent des stratégies d'écoconception, avec leur culture numérique bien développée, par leur formation même, et par leur pratique fréquente des STD. Les urbanistes et programmistes, quant à eux, sont marginalement acteurs de ces pratiques numériques. Les architectes ont

une approche généralement plus holistique, surtout quand ceux-ci ont un profil hybride ingénieur-architecte ou urbaniste-architecte. En analysant les interrelations entre les thématiques abordées, il a été observé qu'une approche holistique de l'écoconception dès les phases amont répondrait mieux aux problématiques environnementales. Dans le même temps des actions devraient être prioritaires, pour surmonter les obstacles normatifs, économiques, sociaux, et techniques.

En contraste avec les contributions mentionnées, cette étude a bien entendu ses limites. La plus importante provient de l'échantillon des personnes interrogées. Le corpus est constitué par des acteurs de la conception centralisée en Île-de-France, très reconnus dans le milieu de l'architecture et de l'urbanisme.. Ces entreprises ont une prise de conscience du besoin d'écoconception déjà très avancée. La maîtrise des outils numériques est également largement déployée. Ceci peut se constater notamment par la forte proportion de profils « hybrides », ingénieur-architecte ou urbaniste-architecte. Cet échantillon professionnel représenté est donc déjà très avisé sur les problématiques abordées dans ces entretiens. Les résultats présentés doivent donc être observés avec précaution. Il serait certainement édifiant d'étendre cette étude des métiers de l'écoconception architecturale et urbaine aux métiers de la construction elle-même, comme à ceux de bâtisseurs, de démolisseurs, de fournisseurs de matériaux ou à la maîtrise d'ouvrage elle-même, et à la promotion privée.

## 7 - Ouverture vers d'autres problématiques

Ces entretiens ont été réalisés de 2017 à 2018.

Nous pouvons nous demander quels ont été les principaux événements qui ont eu lieu depuis cette période récente. La pandémie de 2020 est certainement l'événement majeur qui pourrait engendrer des répercussions importantes dans le domaine de la transition écologique. En quoi ces entretiens seraient-ils différents, s'ils avaient lieu maintenant ? Évoquons ci-dessous quelques pistes de réflexion, en lien avec notre sujet.

### Comment la crise sanitaire de la Covid-19 influe-t-elle sur l'écoconception dans les entreprises de l'architecture et de l'urbanisme ?

Nous pourrions nous demander comment l'écoconception est aujourd'hui impactée par les transformations en cours : l'obligatoire réorganisation du travail, le nouveau rapport social à autrui et les vécus différents des espaces partagés. L'écoconception pourrait être déployée par la prise en compte plus forte et plus précoce du bien-être des personnes, par un « care » écologique. À l'inverse, l'écoconception pourrait voir son développement limité par la crise économique et sociale elle-même.

### **L'amplification des pratiques numériques, avec le déploiement du télétravail, provoque-t-elle un meilleur ressenti vis-à-vis de ces outils ?**

Durant l'année 2020, le télétravail s'est massivement déployé et l'utilisation des outils numériques de communication s'est vulgarisée. Il est maintenant indispensable d'utiliser les nouveaux outils numériques d'échanges, pour la bonne collaboration au sein d'une même agence et entre les entreprises travaillant ensemble à l'écoconception.

Nous pourrions nous demander si cette forte amplification des outils numériques de communication va entraîner une utilisation plus fréquente des outils numériques pour l'écoconception. Et, si c'est le cas, si ceux-ci permettront de mettre en place des stratégies écologiques plus efficaces et plus amples.

### **Les changements de mentalités, induits par les crises sanitaire, économique et sociale, seront-ils suffisamment amples pour accélérer la transition écologique ?**

La pandémie mondiale et les confinements qui en ont résulté ont fait naître dans les corps de métier de la conception un nouvel élan vers un « monde d'après ».

On peut y voir une nouvelle façon de penser l'écoconception de l'architecture et de l'urbanisme, en rupture avec le modèle consumériste dominant. Cela pourrait être une opportunité de changer les pratiques en profondeur dans nos métiers de l'urbanisme, de l'architecture et de l'ingénierie. Le ralentissement de l'activité économique est une occasion de repenser l'écoconception comme un processus différent. De nombreuses personnalités ou institutions se sont exprimées à ce sujet, en faisant part du refus d'un « retour à l'anormal<sup>8</sup> ». On peut ainsi observer de nombreux exemples édifiants, comme ce cycle de conférences « Métamorphoser l'acte de construire », dispensées par le collectif de la « Frugalité Heureuse et Créative » : il met en avant de multiples alternatives, compatibles avec un monde beaucoup moins consumériste en ressources finies<sup>9</sup>. La campagne des architectes anglais « Architects Climate Actions Network » autour du changement climatique et de l'éducation écologique est à ce titre également exemplaire<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup> <https://www.terrestres.org/2020/10/06/17-novembre-2020-agissons-contre-la-reintoxication-du-monde/>

<sup>9</sup> [Le communiqué de presse](#) et [Conférences](#)

<sup>10</sup> <https://www.architectscan.org/curriculum-campaign>

## Liste des figures

Figure 1 : Tableau comparatif des compétences des acteurs interviewés – source : Efficacity / P. Villien.....	10
Figure 2 : Répartitions des métiers et compétences des personnes du corpus d'étude – source : Efficacity / ISA.....	11
Figure 3 : Tableau comparatif des métiers des interviewés – source : Efficacity / ISA ....	12
Figure 4 : Structures et entreprises des personnes du corpus d'étude – source : Efficacity – ISA .....	12
Figure 5 : Comparatif détaillé sur l'usage des familles d'outils numériques dans les entreprises du corpus. source : Efficacity – P. Villien.....	16
Figure 6 : Intégration des outils de conception numérique par corps de métier - source : ISA.....	17
Figure 7 : Répartition de l'utilisation des outils de conception numérique par corps de métier - source : ISA.....	17
Figure 8 : Grille d'analyse thématique - source : ISA.....	31
Figure 9 : Diagramme de l'analyse thématique multicritère. Source : ISA .....	87
Figure 10 : Tableau comparatif des 5 « étapes du changement » , sur le corpus des entretiens – source : Efficacity – P. Villien .....	89
Figure 11 : Transition vers l'écoconception numériquement assistée par corps de métier – source : ISA.....	90
Figure 12 : Taux de transition vers l'écoconception numériquement assistée métier – source : ISA .....	90

## Bibliographie

### Sur les professions, compétences et métiers

**Cereq 2017**, Rapporteurs.res Sandrine Aboubadra-Pauly, Nicolas Le Ru et Marième Diagne (France Stratégie), Damien Brochier et Joachim Haas (Cereq), *Vision prospective partagée des emplois et des compétences, la filière numérique, Rapport du Réseau Emploi Compétences*, juin 2017, 86 pages. Téléchargeable : [https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-rapport-rec-vppeq-numerique-8juin-final\\_0.pdf](https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-rapport-rec-vppeq-numerique-8juin-final_0.pdf)

[cereq\\_2017\\_filiere\\_num\\_rapport-rec-vppeq-numerique\\_final.pdf](#)

> Pour définir les compétences métiers en numérique en général et y repérer l'ingénierie bâimentaire et urbaine, voir page 30. « Ce répertoire des métiers "cœur du numérique" crée un langage commun et partagé entre des acteurs d'horizons divers et donne une vision des métiers en développement à deux ou trois ans », page 3.

**Barruel Planchat 2012**, Monique Barruel, Claire Planchat. Un dispositif méthodologique de transmission de connaissances plurielles pour l'architecte de demain. Biennale internationale de l'éducation, de la formation et des pratiques professionnelles, juillet 2012, Paris <halshs-00801121>

**Ministère de la Culture 2018**, *Référentiel des enseignements numériques dans les ENSA* – Ministère de la Culture, 2018.

**Tapie 2018** - *étude profession - enjeux citoyens*, Guy Tapie, 2018

*Sous la direction de **Guy Tapie**, professeur à l'École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Bordeaux, chercheur au laboratoire de recherche « Profession, architecture, ville, environnement » et au centre Émile-Durkheim (CNRS), en collaboration avec **Patrice Godier**, sociologue, et **Caroline Mazel**, architecte, enseignants à l'École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Bordeaux. **Fanny Gerbeaud** et **Roberta Ghelli**, architectes, et **Antoine Veretout**, statisticien, ont contribué à cet ouvrage.*

*Dans la tradition de la sociologie des représentations, l'ouvrage restitue les résultats d'une vaste enquête interrogeant différents publics (candidats au concours d'entrée des écoles nationales supérieures d'architecture et étudiants diplômés, architectes en activité, grand public et médiateurs) sur leur connaissance d'une discipline et d'une profession qui engagent le rapport du citoyen à l'espace bâti dans lequel il vit.*

**Tapie 2003** - *Les professions de la maîtrise d'œuvre*, Elisabeth Courdurier, Guy Tapie, novembre 2003.

**Shift Project 2019**, MOBILISER L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR POUR LE CLIMAT FORMER LES ÉTUDIANTS POUR DÉCARBONER LA SOCIÉTÉ, 102 pages, Téléchargeable :

[https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/2019-03-25\\_Rapport\\_Mobiliser-lenseignement-sup%C3%A9rieur-pour-le-climat\\_The-Shift-Project.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/2019-03-25_Rapport_Mobiliser-lenseignement-sup%C3%A9rieur-pour-le-climat_The-Shift-Project.pdf)

### Sur les processus de l'écoconception

**Benzerzour et al 2015**, Mohammed Benzerzour, IPRAUS (responsable scientifique), Jean Attali, ACS, Isabelle Chesneau, ACS, Florian Le Nechet, LVMT, Jacques Teller, LEMA, Franck Boutté, Franck Boutté Consultants, Michel Huet, juriste, *Figures intégrées de performance énergétique, Pour prescrire et concevoir la performance énergétique en projet*, Paris, programme recherche IMR, 178 pages. + Cahier des annexes.

Téléchargeable :

[http://sympa.archi.fr/www/d\\_read/la\\_recherche/Programme%20IMR/Rapports%20e-me%20session/Benzerzour\\_150610\\_IMR02\\_Figures\\_Rapport%20final.pdf](http://sympa.archi.fr/www/d_read/la_recherche/Programme%20IMR/Rapports%20e-me%20session/Benzerzour_150610_IMR02_Figures_Rapport%20final.pdf)

> Recherche très informée sur les processus d'écoconception et sur les simulations environnementales.

**Hochsheid Halin 2020** : Elodie Hochscheid, Gilles Halin, *Baromètre BIM : une enquête sur l'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France*, Conférence SCAN'20 Séminaire de Conception Architecturale Numérique, novembre 2020, consultable : [https://www.researchgate.net/publication/342039492 Barometre BIM une enquete s ur l'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France](https://www.researchgate.net/publication/342039492_Barometre_BIM_une_enquete_sur_ladoption_du_BIM_dans_les_agences_darchitecture_en_France)

**Perysinaki 2018**, Aliko Myrto Perysinaki, *Évolution du processus de création en architecture face aux impératifs du développement durable : vers une théorie du process pour des temps écosophiques*, thèse sous la direction de Yann Nussaume et de Jana Revedin, 620 pages, téléchargeable : <https://bdr.parisnanterre.fr/theses/internet/2014PA100085/2014PA100085.pdf>

> Thèse précisant la complexité de l'écoconception environnementale et l'interdépendance des métiers. Voir bibliographie détaillée sur l'évolution de la profession architecturale et acteurs de la construction, pages 545-550.

### Simulations environnementales

**Blassel et al 2014**, DPEA Post Carbone, responsable scientifique J.F. Blassel, P. Buhannic, E. Chiu, C. Janer, M. Manguin, L. Pédot, G. Samé, *Vers une ville énergétiquement résiliente. L'exemple de la Dorsale Est de Paris*, Paris, Programme IMR, BRAUP, 125 pages, consultable : [https://issuu.com/dpeapostcarbone/docs/imr\\_rapport\\_dpea](https://issuu.com/dpeapostcarbone/docs/imr_rapport_dpea) (consulté le 30 juin 2019).

> Recherche élaborant notamment une typologie morphologique urbaine à l'échelle bâtiment, pour définir des indicateurs environnementaux quantifiables.

**Marsault 2018**, Xavier Marsault, *Écoconception générative, phase amont du projet d'architecture, volume 1*, Londres, Edition ISTE, collection systèmes d'information, web et société, Série Architecture et sciences informatiques, 196 pages.

### Ouvrages généraux

**Hopkins 2010**, Rob Hopkins, *Manuel de transition de la dépendance au pétrole à la résilience locale*, Montréal, Ed. Ecocité, 216 pages.

> Voir le modèle des étapes du changement pages 90-91.

