

Adaptation des outils d'écoconception des bâtiments aux besoins de la maîtrise d'ouvrage

Aurore Wurtz*¹, Adélaïde Feraille¹, Charlotte Roux²

¹ Navier, Ecole des Ponts, Univ Gustave Eiffel, CNRS, Marne-la-Vallée, France

² Mines de Paris, Université de Recherche PSL, CES, Paris, France

[*aurore.wurtz@enpc.fr](mailto:aurore.wurtz@enpc.fr)

1. Introduction

Le caractère indirect de plusieurs impacts liés au parc bâti (déchets radioactifs générés par la consommation d'électricité par exemple) ainsi que sa contribution à un grand nombre de phénomènes environnementaux rendent nécessaire l'utilisation d'une méthode d'évaluation environnementale holistique et multicritère telle que l'analyse de cycle de vie (ACV) (Guinee 2002). Cette méthode peut être utilisée à différents niveaux pour l'étude des bâtiments et des quartiers : définition d'objectifs de programme, aide à la conception, aide à la gestion, aide à la rénovation, aide à la stratégie de déconstruction. Elle est utilisée en France depuis les années 90 sur les bâtiments (B. Polster 1995) et plus récemment sur les quartiers (Popovici 2005).

Les maîtrises d'ouvrage, notamment les collectivités portent la réflexion en phase très amont, au moment où des décisions importantes sont prises sur l'évolution de l'environnement bâti. Or, peu de données spécifiques au projet sont définies à ce moment-là, ce qui complique l'application de la méthode d'analyse de cycle de vie. De plus, peu d'outils s'adressent spécifiquement à la maîtrise d'ouvrage et permettent une réflexion à l'échelle de l'ensemble du parc géré.

Le projet ECOMOA cible le développement de méthodes et d'outils spécifiques basés sur l'Analyse de Cycle de Vie à destination des maitres d'ouvrage. La recherche est élaborée en co-construction avec la ville de Paris, partenaire du projet, pour s'adapter au plus près des contraintes et périmètres de responsabilité des acteurs de terrain. Par ailleurs, les chercheurs organisent des sessions de formation-restitution afin d'accompagner la montée en compétence des agents de la ville et de leurs prestataires.

Dans la suite de cette communication la méthodologie du projet ECOMOA est présentée ainsi que l'application prévue sur le parc des écoles de la ville de Paris. La méthode suivie est d'abord exposée de façon générale puis des premiers résultats de l'état de l'art sont discutés ainsi que des perspectives pour la suite du projet.

2. Méthodes et outils

La méthodologie suivie sur l'ensemble du projet ECOMOA comprend 4 étapes : un état de l'art, une phase de développement méthodologique, une étude d'opportunité sur les maquettes BIM/CIM et enfin une analyse du processus de décision sur le parc des écoles de la ville de Paris. Ces étapes sont détaillées en *Figure 1*.

L'état de l'art implique ici de confronter les outils utilisés par la collectivité à la littérature scientifique pour identifier des leviers d'action pertinents pour l'intégration des outils

d'écoconception aux études de la ville de Paris. Cette première étape est également nécessaire pour sélectionner les approches méthodologiques et les indicateurs environnementaux pertinents en collaboration avec les acteurs de terrain.

Les développements méthodologiques se concentrent ensuite sur les difficultés identifiées dans l'état de l'art concernant l'utilisation des outils d'écoconception pour les maîtres d'ouvrage, en phase très amont : la difficulté de la collecte de données (e.g. création d'archétypes, utilisation de sources opendata et potentiel d'automatisation de la collecte de données contextuelles), l'importance de l'adaptation des outils au contexte spécifique du maître d'ouvrage (territorialisation des données, régionalisation des impacts, intégration de phénomènes spécifiques, e.g. effet d'îlot de chaleur urbain), évolution des pratiques du secteur (économie circulaire).

Finalement, les développements proposés seront mis en œuvre sur le parc des écoles de la ville de Paris, à différentes échelles spatiales (bâtiment, îlot, parc).

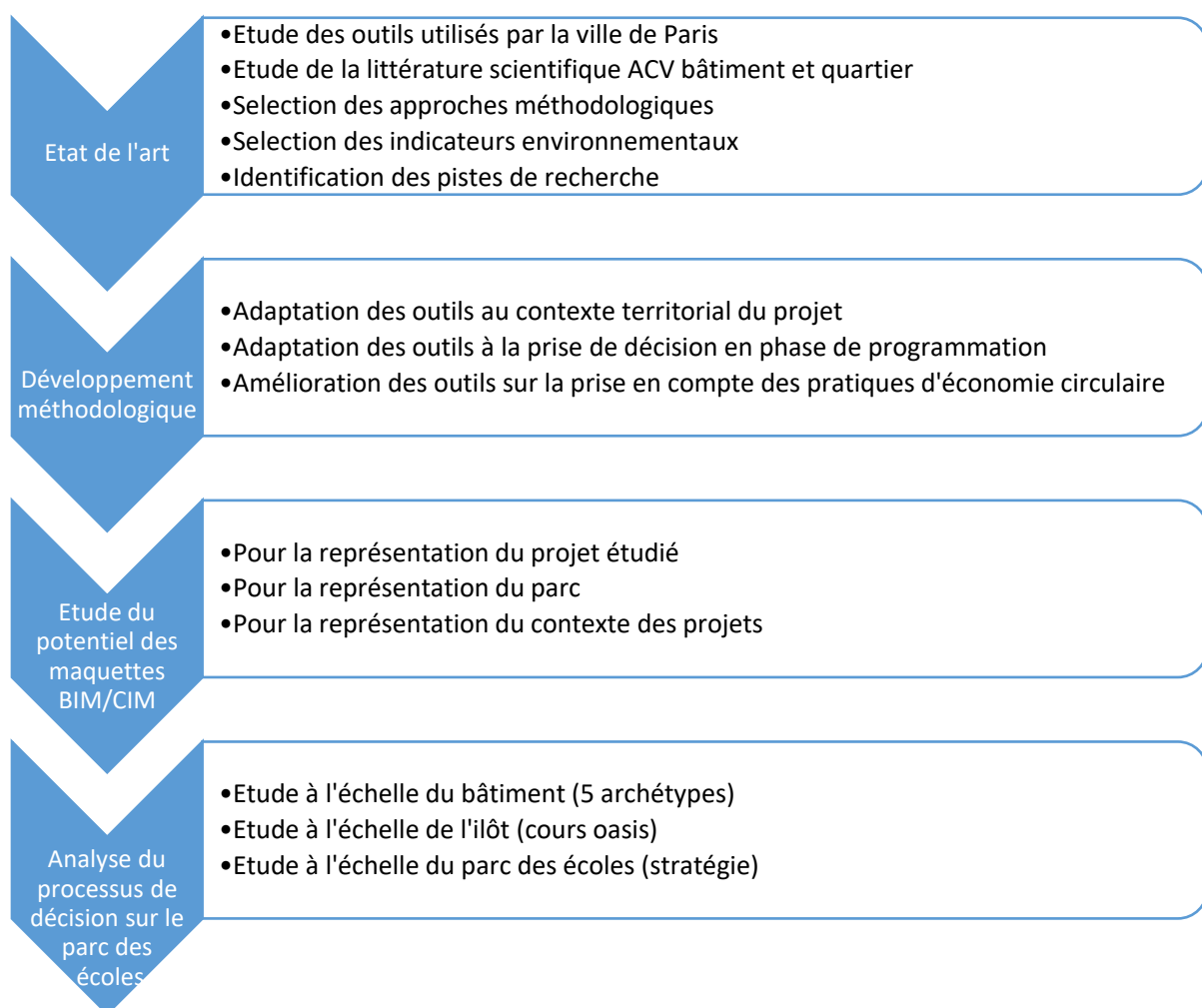


Figure 1 : Méthodologie générale

3. Résultats de l'état de l'art

Outils de la collectivité : En phase de programmation, la ville de Paris s'appuie sur des diagnostics et objectifs fixés à l'échelle territoriale. Il s'agit d'une part du plan local d'urbanisme (PLU) bioclimatique, document-cadre créé pour la révision des règles d'urbanisme de la ville de Paris en vue de répondre à l'urgence climatique dans un contexte

où le logement reste une priorité. Il fixe des orientations d'aménagement et de programmation à partir d'un diagnostic territorial et d'un état initial de l'environnement établis précédemment. La comparaison entre le PLU bioclimatique actualisé et la version précédente montre une amélioration des effets sur l'environnement, tandis que les impacts sur la santé humaine restent mitigés malgré des efforts pour répondre à cet enjeu, comme la mise en place de végétalisation dense aux abords du périphérique. Le projet d'aménagement et de développement durable est évalué chaque année et un bilan est prévu 6 ans après sa mise en place dans le but de faire évoluer le PLU dans le sens d'un urbanisme toujours plus durable. Le plan climat est également un document phare de la ville de Paris pour la réalisation de l'objectif bilan carbone neutre à travers une trajectoire d'adaptation évolutive. Le plan économie circulaire de l'année 2017 fixe des objectifs propres au territoire parisien, basés sur la loi transition énergétique pour la croissance verte tels qu'une trajectoire zéro déchets, la collecte des déchets alimentaires pour tout Paris, le tri de tous les emballages, des chantiers zéro déchets pour les opérations de la ville, etc. Il s'agit de deux feuilles de route composées de 15 actions chacune autour du réemploi, de la réduction des déchets et de l'économie circulaire. De plus, la ville de Paris a effectué différents bilans tels qu'une étude de vulnérabilité et de robustesse face au changement climatique et la raréfaction des ressources et le bilan carbone 2020. Enfin, le socle des invariants, un document interne à la mairie de Paris, fixe de nombreuses règles pour la maîtrise d'ouvrage notamment en termes de sécurité et de conception bioclimatique.

Les développements méthodologiques proposés devront s'inscrire dans cet ensemble, sans démultiplier la complexité de gestion des études pour les chefs de projet de la ville de Paris.

Positionnement méthodologique : La première étape de la méthode d'analyse de cycle de vie consiste à définir les objectifs du projet. Ensuite, le périmètre du projet est établi, et de nombreuses hypothèses sont posées. Les étapes suivantes comprennent l'analyse de l'inventaire, l'évaluation environnementale et l'interprétation des résultats (ISO 14044 2006). Différentes approches existent, selon les objectifs définis, et peuvent être divisées en deux catégories : l'approche attributionnelle et l'approche conséquentielle. Cette dernière vise à étudier les conséquences de la décision correspondant à la réalisation du projet (Weidema, Ekvall, et Heijungs 2009). Elle met en évidence le lien entre le projet et le contexte économique et infrastructurel ; elle est plus adaptée pour refléter les impacts réels d'une modification du parc existant. La considération de données horaires du mix électrique permet de prendre en compte la variabilité temporelle de la demande et de la production d'électricité. Cette variabilité est illustrée Figure 2 par la répartition horaire des technologies de production d'électricité appelées au cours de l'année 2016, provenant d'un modèle développé par Roux (2016). De plus, le mix dépend fortement des décisions politiques futures, notamment des technologies qui vont être développées en priorité.

Pour prendre en compte correctement cette évolution temporelle, il est possible de se tourner vers l'approche prospective, qui est principalement mise en pratique par l'utilisation de scénarios. Les approches conséquentielle, dynamique et prospective seront donc mobilisés dans le cadre de ce projet.

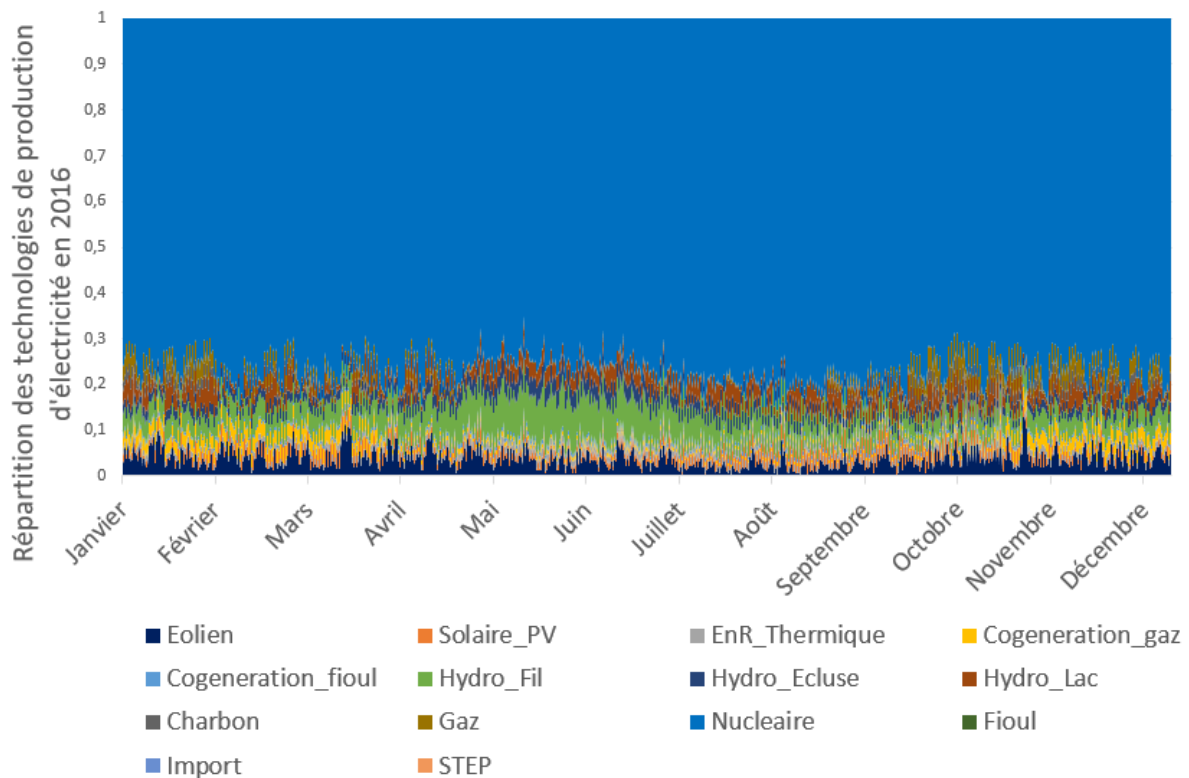


Figure 2: Répartition des technologies de production d'électricité appelées au cours de l'année 2016

Différents outils d'ACV généralistes et spécifiques aux bâtiments existent, tels que SimaPro¹, OpenLCA², Pleiades³ et UrbanPrint⁴. Pour faciliter la saisie et évaluer les impacts de manière rigoureuse, il est préférable d'utiliser un outil d'ACV des bâtiments couplé à un modèle de simulation énergétique dynamique (Peuportier, Thiers, et Guiavarch 2013). La RE2020 impose désormais un calcul réglementaire prenant en compte l'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Une quinzaine d'outils proposent cette fonctionnalité⁵, tels que ClimaWIM 2020⁶ et ELODIE by CYPE⁷. L'ACV réglementaire considère des hypothèses conventionnelles (e.g. durée de vie des bâtiments de 50 ans) afin de proposer une base de comparaison commune à l'ensemble des projets qui ne sont pas toujours représentatives de la réalité. Par exemple les scénarios d'usage étant génériques, l'outil réglementaire ne doit pas être utilisé pour estimer les consommations de chauffage prévisionnelles d'un bâtiment (Cabassud 2024). Ainsi, bien que la mise en œuvre d'une réglementation environnementale soit nécessaire pour répondre à l'urgence climatique et plus généralement au contexte environnemental actuel, il est pertinent de réaliser une véritable étude d'écoconception en complément des études réglementaires obligatoires.

La méthode ACV dans une démarche d'écoconception a tout de même des limites qui compliquent son utilisation sur le terrain. On observe un manque de connaissances et d'outils

¹ <https://simapro.com/>

² <https://www.openlca.org/>

³ <https://www.izuba.fr/logiciels/outils-logiciels/re-2020-acv/>

⁴ <https://efficacity.com/urbanprint/>

⁵ https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2023-05-25_validation_logiciels_re2020.pdf

⁶ <https://www.bbs-slama.com/>

⁷ <https://info.cype.com/fr/software/elodie-by-cype/>

adaptés pour une mise en œuvre efficace (Ipsen et al. 2021). Le manque de sensibilisation des maîtrises d'ouvrage et donc de demande de travaux éco-conçus et l'insuffisance des ressources financières pour concevoir des bâtiments à haute performance environnementale sont également des obstacles à l'application de l'ACV pour l'écoconception des bâtiments.

Les collectivités représentent un levier intéressant dans le cadre de la transition énergétique et environnementale, à travers leur gestion des bâtiments publics, et notamment des bâtiments scolaires. L'engagement des villes dans la rénovation des bâtiments publics et la conception bioclimatique joue un rôle d'exemple auprès des autres acteurs tels que les gestionnaires de patrimoine, les bailleurs sociaux ou encore les particuliers. Elle crée également un marché pour les entreprises compétentes et contribue à démocratiser les bonnes pratiques. Des travaux ont été réalisés à l'international pour atteindre l'objectif « nZEB » pour un parc de bâtiments public (Teni, Čulo, et Krstić 2019) et pour un bâtiment d'éducation (Niemelä, Kosonen, et Jokisalo 2016). Il est également important de préciser que la rénovation basée sur la technique et l'économie ne suffit pas, le comportement des occupants a une grande influence et nécessite une prévention et une communication adéquate (Farsäter et Olander 2019). Ainsi, les villes qui peuvent être à la fois maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage représentent un levier d'action non négligeable. L'influence du comportement des occupants peut être pris en compte aujourd'hui dans les outils d'écoconception grâce à des méthodes stochastiques (Schalbart, Vorger, et Peuportier 2021).

Indicateurs environnementaux : Les impacts sont évalués à partir d'indicateurs environnementaux, dans lesquels tous les flux sont recensés et agrégés afin d'être interprétés. Des recommandations ont été publiées par l'ILCD, et des travaux récents ont permis de développer des méthodes concernant la différenciation spatio-temporelle des impacts (GLAM 2016). Dans l'objectif d'éviter les transferts d'impact et donc d'aborder un ensemble de problématiques environnementales, un jeu d'indicateurs a été sélectionné suite à un séminaire associant des spécialistes internationaux de l'ACV, comprenant notamment le changement climatique, les dommages à la santé humaine et les dommages à la biodiversité.

4. Prochaines étapes

Un développement méthodologique pour l'écoconception adaptée aux objectifs et périmètre de responsabilité des maîtres d'ouvrage sera réalisé, avec un focus sur le cas de la ville de Paris. Les questions de la prise en compte du réemploi, du stockage de carbone biogénique ainsi que de la rareté de certains matériaux seront étudiées car ce sont des éléments importants dans la stratégie à l'échelle de la collectivité. Des propositions méthodologiques opérationnelles seront comparées, et des préconisations pourront être faites pour le traitement de ces problématiques dans le contexte des outils d'écoconception à l'usage des maîtres d'ouvrage. Les caractéristiques spécifiques du territoire seront étudiées, telles que les effets d'îlot de chaleur urbain, de masques, les modalités de traitement des déchets, l'impact sur les réseaux... Ces conséquences doivent être incluses dans les évaluations environnementales mais de façon simple afin de permettre l'usage de l'outil par un public averti mais non expert. Les développements proposés dans le cadre de ce projet porteront principalement sur la proposition de données par défaut permettant de mieux caractériser le territoire et les données météorologiques. Enfin, des propositions méthodologiques seront faites en vue d'adapter les outils existants au regard des étapes précédentes afin de tenir compte des contraintes particulières liées à la maîtrise d'ouvrage.

Le parc des écoles gérées par la ville représente près de 700 bâtiments. Il est constitué d'un large panel de modes constructifs. Après discussion avec la collectivité, il a été décidé de classer les écoles en 6 grandes catégories : L'époque Jules Ferry (1880-1920), l'avant-guerre moderniste (1920-1930), le début et la fin des trente glorieuses (1950-1975), et l'architecture actuelle séparée en avant et après 2000. Des archétypes représentatifs de ces 6 catégories vont être élaborés sur la base de cas réels fournis par la collectivité. Ils seront positionnés dans leur contexte précis (e.g. masques proches, végétation, etc.) et leurs impacts environnementaux sur le cycle de vie seront évalués afin de tester différents scénarios d'évolution à l'échelle du bâtiment (rénovation, énergie renouvelable) et de l'ilot (opération cours oasis de végétalisation des cours d'école). Les aspects sur le confort, notamment sur le confort estival actuel et futur seront intégrés aux études.

5. Conclusion et perspectives

La première étape du projet ECOMOA consistant à réaliser un état de l'art des outils d'écoconception et de la méthode ACV est en cours de finalisation. Les résultats de l'état de l'art vont permettre de déterminer des propositions méthodologiques qui seront étudiées durant la deuxième étape de ce projet.

En parallèle, une étude d'opportunité sera effectuée concernant le potentiel des maquettes BIM/CIM dans un objectif de capitalisation des données et d'amélioration de la fiabilité et de la précision des études, notamment.

De plus, des ateliers de travail sont organisés avec les agents opérationnels de la ville dans le but de co-construire une formation aux outils d'ACV adaptée à la maîtrise d'ouvrage, et dans un premier temps en particulier à la ville de Paris.

6. Bibliographie

- B. Polster. 1995. « Contribution à l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par analyse du cycle de vie ». Ecole des Mines de Paris.
- Cabassud, Nicolas. 2024. « Guide RE2020 : Eco-construire pour le confort de tous ». Ministère de la Transition écologique – Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement CEREMA.
- Farsäter, Karin, et Stefan Olander. 2019. « Early decision-making for school building renovation ». *Facilities* 37 (13/14): 981-94. <https://doi.org/10.1108/F-10-2017-0102>.
- GLAM. 2016. « Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators - Life Cycle Initiative ». 20 novembre 2016. <https://www.lifecycleinitiative.org/activities/life-cycle-assessment-data-and-methods/global-guidance-for-life-cycle-impact-assessment-indicators-and-methods-glam/lcia-cf/>.
- Guinee, Jeroen. 2002. « Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards ». *The International Journal of Life Cycle Assessment* 7 (5): 311-13. <https://doi.org/10.1007/BF02978897>.
- Ipsen, Kikki Lambrecht, Massimo Pizzol, Morten Birkved, et Ben Amor. 2021. « How Lack of Knowledge and Tools Hinders the Eco-Design of Buildings—A Systematic Review ». *Urban Science* 5 (1): 20. <https://doi.org/10.3390/urbansci5010020>.
- ISO 14044. 2006. « Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines ». 2006. <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:en>.
- Niemelä, Tuomo, Risto Kosonen, et Juha Jokisalo. 2016. « Cost-optimal energy performance renovation measures of educational buildings in cold climate ». *Applied Energy* 183 (décembre):1005-20. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.044>.

- Peuportier, Bruno, Stéphane Thiers, et Alain Guiavarch. 2013. « Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment ». *Journal of Cleaner Production* 39 (janvier):73-78. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.041>.
- Popovici, E. 2005. « Contribution to the life cycle assessment of settlements ».
- Roux, Charlotte. 2016. « Analyse de cycle de vie conséquentielle appliquée aux ensembles bâtis ». Thèse de doctorat, MINES ParisTech.
- Schalbart, P., E. Vorger, et B. Peuportier. 2021. « Stochastic Prediction of Residents' Activities and Related Energy Management ». In *Towards Energy Smart Homes*, Ploix, S., Amayri, M., Bouguila, N. (eds). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76477-7_17.
- Teni, Mihaela, Ksenija Čulo, et Hrvoje Krstić. 2019. « Renovation of Public Buildings towards nZEB: A Case Study of a Nursing Home ». *Buildings* 9 (7): 153. <https://doi.org/10.3390/buildings9070153>.
- Weidema, Ekvall, et Heijungs. 2009. « Guidelines for application of deepened and broadened LCA ». *Deliverable D18 of work package 5*:17.