

L'éco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures

Par Bruno PEUPOORTIER

Directeur de recherche au Centre Efficacité énergétique des Systèmes – MINES ParisTech

Des outils ont été développés pour évaluer les impacts environnementaux des ensembles bâtis et des infrastructures en intégrant la fabrication des matériaux de construction, le chantier, les procédés liés à l'utilisation des ouvrages (comme le chauffage et la consommation d'eau) jusqu'à la démolition, le traitement des déchets et leur recyclage éventuel. Ces outils peuvent, en complément d'analyses socio-économiques, aider les décideurs à progresser vers un urbanisme plus durable.

Les villes contribuent de manière très importante aux impacts environnementaux d'origine anthropique, et leur population ne cesse de croître. Dans ce contexte, le concept de développement durable prend tout son sens. Satisfaire les besoins du présent consisterait par exemple à répondre à une demande, encore largement insatisfaite, de logements répondant à des standards de confort acceptables. Préserver les générations futures implique de protéger un certain nombre de biens communs, comme les ressources naturelles, la santé, la biodiversité et le climat. Il s'agit là d'un véritable défi, qui implique de mieux comprendre les liens systémiques de cause à effet entre les décisions prises par les différents acteurs et leurs conséquences en termes d'émissions de polluants et d'impacts environnementaux générés.

Un bâtiment, et *a fortiori* un îlot urbain, un quartier ou une ville, forment des systèmes complexes dans lesquels de nombreuses composantes interagissent. Par ailleurs, une solution permettant de réduire un impact environnemental conduit souvent à dégrader une autre performance. Ce transfert d'impact peut également se produire dans l'espace ou dans le temps : ainsi, par exemple, la voiture électrique améliore la qualité de l'air des villes, mais elle génère par ailleurs des impacts environnementaux négatifs liés à la production d'électricité (son « carburant »). C'est souvent pour ces raisons que les avis divergent sur les décisions à mettre en œuvre pour progresser vers un développement durable.

Pour éclairer ces débats, l'approche de l'écoconception que nous proposons ici consiste à quantifier un ensemble d'indicateurs environnementaux relatifs aux cycles de vie des différents éléments constitutifs d'un territoire.

L'écoconception concerne des projets de construction neuve, mais aussi des opérations de réhabilitation. En effet, d'une part, la construction neuve d'une année ne représente qu'environ 1 % du parc bâti existant, lequel

constitue donc un enjeu essentiel dans une politique de long terme. Il faut, d'autre part, intégrer les différents secteurs concernés par un projet d'aménagement : le bâtiment, bien sûr, mais aussi les transports, l'eau, les déchets, l'énergie et même l'agriculture, qui s'adapte à l'urbain de manière particulièrement innovante.

Les décisions influant le plus sur la performance d'un aménagement sont celles qui sont prises durant les phases amont, d'où l'importance de la programmation, qui devrait inclure des exigences de performance environnementale. Cette stratégie de prévention s'avère également intéressante sur le plan économique, car il est moins onéreux d'intervenir en amont que de corriger des erreurs de conception, une fois le projet réalisé.

La sensibilisation des décideurs aux problématiques environnementales a suscité diverses initiatives, comme le développement de la démarche « haute qualité environnementale » ou la création de nombreux « éco-quartiers », mais sans que les concepts correspondants aient toujours été étayés de manière précise. Or, l'importance des risques, du niveau local jusqu'au niveau planétaire, demanderait une gestion plus rigoureuse de ces problèmes.

Présentation de la méthodologie

La performance d'un aménagement urbain est la résultante d'un programme établi par le maître d'ouvrage, du choix de son site, de la compétence de l'urbaniste, des architectes et des bureaux d'études, de l'usage de technologies adaptées, du soin apporté par les entreprises à sa réalisation et à son exploitation et du comportement des usagers. Il s'agit alors de partager des critères de performance communs pour pouvoir choisir les solutions urbanistiques, architecturales et techniques les plus appropriées.

La multiplicité des fonctions d'un territoire complique la caractérisation de cette performance, qui intègre des aspects écologiques, économiques et socioculturels. L'idée est dès lors de constituer une grille de critères de performance, mesurés par des indicateurs, qui soit la plus complète possible en l'état actuel des connaissances. De telles grilles ont été étudiées dans différents projets européens et nationaux. En ce qui concerne les aspects environnementaux, on distingue en général trois grands domaines de protection : la santé, la biodiversité et les ressources naturelles. Différents effets influent sur les indicateurs correspondants : ainsi, par exemple, les dommages à la biodiversité sont liés au changement climatique, à l'émission de polluants écotoxiques, au phénomène des pluies acides, à l'usage des sols et à l'eutrophisation (résultant d'un apport excessif de matières nutritives dans les eaux). Les dommages à la santé résultent eux aussi du changement climatique et de l'émission de polluants toxiques, mais aussi de phénomènes physiques comme la radioactivité.

L'évaluation de ces critères environnementaux peut sembler être une gageure du fait de la multiplicité des activités humaines, de celle des polluants émis – on recense plus de 100 000 substances chimiques commercialisées –, et de la complexité de phénomènes en chaîne : émission de polluants dans les différents compartiments écologiques (air, eaux superficielles, nappes phréatiques, sols, océans, sédiments...), transport de ces polluants (écoulement des eaux, érosion...), dégradation au cours du temps (réactions photochimiques, dans l'atmosphère, hydrolyse, photolyse, etc.), transferts dans les aliments (et phénomènes de bioconcentration dans les plantes, de bioaccumulation chez les animaux et de biomagnification dans la chaîne alimentaire), expositions (chroniques, sub-chroniques...), doses reçues et conséquences sur la santé et la biodiversité.

Chaque acteur n'a connaissance que d'une petite partie d'un ensemble nécessairement interdisciplinaire et intersectoriel. En effet, l'évaluation des impacts environnementaux mobilise des connaissances entre autres en écologie, en médecine, en génie des procédés et en énergétique. Par ailleurs, les activités humaines sont en interaction : ainsi, par exemple, il faut de l'énergie pour produire du ciment, il faut de l'acier et du béton pour produire de l'énergie, etc. L'étude des ensembles urbains constitue une illustration de ces problématiques intersectorielles.

Intégrer les aspects environnementaux dans la prise de décision nécessite alors des outils capitalisant un ensemble très vaste de connaissances, tout en mettant celles-ci à la portée d'acteurs disposant d'un temps limité pour réaliser de telles études. L'analyse de cycle de vie (ACV) est l'un des outils développés pour répondre à ce cahier des charges. Il s'agit d'un outil d'ingénierie ayant pour but d'évaluer les impacts environnementaux d'un système durant tout son cycle de vie, c'est-à-dire depuis sa fabrication jusqu'à sa fin de vie, en incluant un recyclage éventuel, d'où la notion de cycle qui correspond à l'idée d'une gestion raisonnable des ressources sur le long terme. Cette méthode a été développée d'abord dans l'in-

dustrie, à partir des années 1970, puis dans le secteur du bâtiment, et a été finalement étendue à l'ensemble des activités humaines. L'étude de son application aux ensembles urbains est des plus récentes.

L'évaluation d'indicateurs concernant les effets ou les dommages environnementaux nécessite des informations provenant des fabricants de matériaux, des producteurs d'énergie et d'eau, des entreprises de traitement des déchets, etc. Des bases de données fournissent pour chaque produit ou procédé un inventaire de cycle de vie indiquant les quantités des différentes substances puisées ou émises dans l'environnement. Des indicateurs environnementaux sont ensuite évalués. Par exemple, le potentiel de réchauffement global est défini par le groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique (GIEC). Cet indicateur permet d'exprimer une équivalence en CO₂ des différents gaz à effet de serre, en fonction de leurs propriétés optiques et de leur durée de vie dans l'atmosphère. Certains aspects environnementaux concernant la santé et la biodiversité nécessitent des modèles plus sophistiqués élaborés au niveau international, mais dont la marge d'incertitude reste élevée. L'importance des aspects énergétiques dans le bilan environnemental des bâtiments justifie l'association de l'analyse de cycle de vie (ACV) et de la simulation thermique dynamique, laquelle permet de surcroît d'évaluer le niveau de confort thermique du projet étudié. La simulation intégrée des transports et de l'usage des sols est également mobilisée.

L'objectif durant la phase de conception d'un projet est en général de respecter le programme défini par le maître d'ouvrage : l'aménagement doit correspondre à un certain nombre d'activités pour lesquelles il est prévu, avec un certain niveau de confort, de qualité de vie, etc., tout en réduisant les impacts environnementaux externes et les coûts. Pour éviter les déplacements de pollution, le système étudié doit intégrer les éventuelles phases amont de certains procédés : ainsi, par exemple, dans le cas du chauffage au gaz, non seulement la combustion du gaz dans la chaudière doit être prise en considération, mais aussi l'extraction et la distribution du gaz utilisé, même si les polluants ont été émis loin du quartier étudié. Les impacts liés aux transports doivent, quant à eux, prendre en compte la construction et l'entretien des réseaux et des véhicules.

Différents outils ont été développés pour appliquer l'analyse de cycle de vie aux bâtiments. Mais l'extension de ces outils à l'échelle de quartiers est moins courante. L'outil EQUER a été complété en ce sens, devenant NovaEQUER. Ce logiciel d'analyse prend en compte plusieurs types de bâtiment, ainsi que les espaces extérieurs (voiries, stationnement, espaces verts, etc.) et les réseaux (eau, énergie...). L'intérêt est double : d'une part, cette échelle permet d'étudier un certain nombre de choix urbanistiques ayant une influence très importante sur les performances environnementales (en particulier, l'orientation des voiries et des bâtiments, ainsi que leur compacité, qui est liée à la densité) ; d'autre part, certaines options techniques sont décidées à cette échelle, en ce qui concerne, par exemple, les réseaux de chaleur, les transports et le traitement des déchets.



Figure 1 : à gauche, projet d'aménagement étudié (ACT Consultants) et, à droite, vue du quartier à énergie positive de référence.

Pour mieux cerner leur fiabilité, huit outils européens ont été comparés dans le cadre du réseau thématique européen PRESCO. Dans l'exemple d'une maison suisse à ossature bois, la contribution à l'effet de serre calculée sur 80 ans diffère de +/- 10 % selon les outils. Ces travaux européens se poursuivent, l'un des axes de travail étant la simplification des analyses et la validation des hypothèses simplificatrices. Certains paramètres ne sont pas connus avec précision : c'est le cas par exemple de la durée de vie des bâtiments. Des analyses de sensibilité permettent alors de vérifier la robustesse des résultats en faisant varier ces paramètres incertains.

Un exemple d'application

Le *cluster* Descartes, situé à Marne-la-Vallée (ville nouvelle située à l'est de Paris), est un des pôles dont la valorisation est au programme du projet du Grand Paris. L'ACV y a été appliquée à une zone spécifique sur laquelle un projet a été esquissé par ACT Consultants (voir la Figure 1 ci-dessus). Afin d'évaluer sa performance, ce projet a été comparé à des références : un quartier à énergie positive (QEP) et un quartier basse énergie (QBE) constitué de bâtiments passifs ; des quartiers situés à Fribourg (en Allemagne) et qui sont tous deux des exemples de bonnes pratiques.

Chaque quartier comporte plusieurs types de bâtiment, qui peuvent être différenciés en fonction de leur usage (logements, bureaux...), de leur géométrie, de leur orientation, etc. Chaque type a été évalué par simulation thermique dynamique et par ACV. Les quartiers considérés possédant des caractéristiques parfois différentes (nombre de bâtiments, surface, densité d'occupation, usages...), il a été choisi de raisonner à nombre d'habitants égal. La base de comparaison (ou unité fonctionnelle) est alors « un quartier de 900 occupants de logements, 700 occupants de bureaux, 400 occupants de commerces et 250 occupants d'écoles, en Île-de-France, comportant 38 000 m² d'espaces verts, en escomptant une durée de vie des bâtiments de 80 ans ».

On constate que les impacts environnementaux des trois quartiers sont du même ordre, à l'exception de l'énergie primaire consommée et des déchets radioactifs produits (voir la Figure 2 de la page suivante). Mais les parts relatives des étapes de construction, d'utilisation, de rénovation et de fin de vie peuvent différer grandement d'un quartier à l'autre et selon les indicateurs considérés. En ce qui concerne l'énergie primaire par exemple, la phase d'utilisation est prépondérante dans le quartier QBE et la Cité Descartes, alors que sa contribution est faible pour le QEP. Le bilan est très différent en ce qui concerne l'indicateur de changement climatique : les différences entre les trois quartiers sont beaucoup plus faibles.

Une démarche d'écoconception appliquée aux bâtiments permet ainsi d'atteindre le niveau des meilleures pratiques européennes mesurées par la plupart des indicateurs. Mais les efforts dans la conception des éco-quartiers doivent aussi porter sur les aspects liés aux transports et au traitement des déchets d'activités. D'après les résultats de cette étude, la contribution des déchets est importante sur la quasi totalité des indicateurs : ainsi, par exemple, elle est de 40 à 45 % en ce qui concerne le changement climatique (en fonction des pratiques de consommation et de tri des habitants). La prise en compte des transports nécessiterait une étude plus approfondie. Néanmoins, une évaluation a été menée afin de mieux cerner, à titre d'ordre de grandeur, l'importance de cet aspect dans le bilan global : il représente dans le cas étudié ici entre 15 et 20 % de la consommation d'énergie selon que les trajets domicile-travail sont effectués en RER ou en bus (le pourcentage serait encore plus élevé dans le cas de la voiture individuelle).

Conclusions et perspectives

Cet exemple montre que l'analyse de cycle de vie peut être appliquée pour comparer différentes variantes de conception d'un projet d'aménagement. Dans le cas étudié ici, les performances correspondant aux meilleures pratiques (celles du quartier Vauban, à Fribourg) ont pu

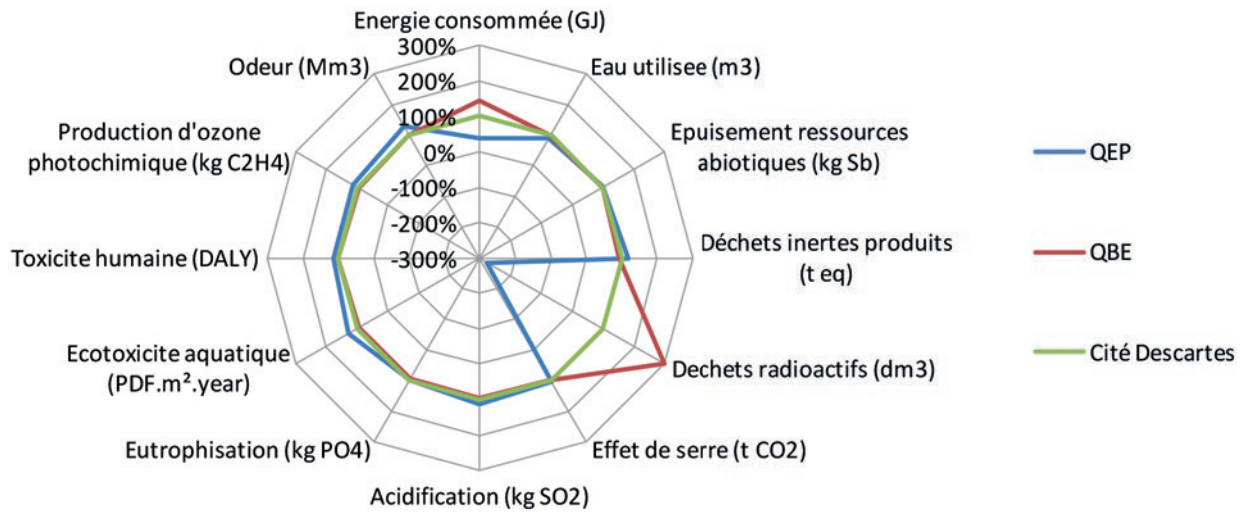


Figure 2 : Impacts du projet comparés aux meilleures pratiques existantes.

être atteintes à unité fonctionnelle égale (même nombre d'habitants, même climat, même scénario d'usage).

Il serait dès lors utile d'intégrer des objectifs de performance dans les programmes des maîtres d'ouvrage ou des collectivités. On peut citer, par exemple, le cas du quartier Lyon Confluence, où les concepteurs ont dû respecter des valeurs seuils en termes d'émission de gaz à effet de serre et de production de déchets radioactifs (par an et par m² construit).

Ces études confirment l'intérêt de certaines technologies comme les énergies renouvelables et l'utilisation de maté-

riaux recyclés et recyclables. Elles font également apparaître le rôle des occupants en matière de performances environnementales : l'éco-conception ne suffit pas, il est indispensable d'associer les usagers à la bonne gestion, voire à la conception des projets.

Nous précisons que ces travaux ont bénéficié du soutien de la chaire ParisTech, en association avec VINCI, « Éco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures », de la Commission européenne, de l'Agence nationale de la recherche et de l'Ademe.