
Eco-conception et innovation en génie civil. Application à la conception et la réalisation de « parkings verts ».

**E. Caillaud, F. Hlawka, A. Terfous, J.B. Poulet, A. Ghenaim,
M. Sonntag, K. Dupré, S. Thiebaud**

LGECO, INSA de Strasbourg.
24 boulevard de la victoire.
67084 Strasbourg Cedex.
abdelali.tefous@insa-strasbourg.fr

RESUME. Le projet de génie civil se heurte à des difficultés croissantes. Les critères du développement durable conduisent à une nouvelle grille de lecture des contraintes du projet. Dans cet article, nous voulons montrer que de nouveaux outils peuvent être employés pour guider les choix. L'éco-conception innovante suppose une analyse fine : analyse fonctionnelle, analyse dialectique sont des outils qui permettent de cerner les limites d'un procédé technologique. Nous avons testé ces méthodes sur la conception d'un nouveau matériau adapté aux parkings. Les résultats attendus devront valider le matériau sous l'angle du développement durable.

ABSTRACT. The project of civil engineering encounters increasing difficulties. The criteria of sustainable development lead to a new grid to read the constraints of the project. In this article, we want show that new tools can be used to guide the choices. The innovating éco-design supposes a fine analysis: analyze functional, analyzes dialectical are tools permitting to determine the limits of technological processes. We tested these methods on the design of a new material adapted to the car parks. The awaited results will have to validate this material under the angle of sustainable development.

MOTS-CLÉS : Conception des produits, innovation, développement durable, connaissances.

KEYWORDS: Conception of product, innovation, sustainable development, knowledge.

1. Introduction

Le développement durable est devenu plus qu'un slogan mais une nécessité pour nous donner un avenir équilibré supporté par les trois piliers de la société, de l'économie et de l'environnement. Dans ce cadre, différentes approches du changement à mettre en œuvre peuvent être considérées : optimisation, amélioration et renouvellement. D'après (Jansen, 2003), si à court terme l'optimisation et l'amélioration des produits et des procédés sont envisageables, la conception de nouveaux produits et de nouveaux procédés sera l'enjeu des prochaines décennies. Le développement durable est donc directement lié à l'innovation basée sur les besoins.

La construction de parkings de plus en plus nombreux et couvrant des surfaces toujours plus importantes contribue fortement à l'impossibilité d'absorption par les sols des eaux pluviales. On peut alors s'interroger sur la prise en compte du développement durable dans la conception et la réalisation de parkings.

L'objectif de ce travail est de proposer la conception d'un nouveau type de parking respectant les besoins en absorption des eaux pluviales et réalisé dans le respect de l'environnement : le « parking vert ».

2. Eco-conception de produits

La conception de produits dans le cadre du développement durable est dénommée éco-conception. Le concept d'éco-conception a été progressivement développé alors que des conceptions respectueuses de l'environnement ont été réalisées depuis les premiers temps de la conception (Shu-Yang et al. 2004). L'éco-conception doit satisfaire plusieurs concepts clés : satisfaire les besoins humains, évoluer vers la durabilité des ressources, maintenir l'intégrité écologique, imiter les écosystèmes naturels, éliminer la dette envers la nature, protéger l'habitat naturel, développer la conscience environnementale. La mise en application de l'éco-conception est illustrée sur différents exemples en architecture, sur des produits, sur des parcs industriels et en urbanisme.

Un des enjeux pour le développement durable concerne l'évaluation de l'impact sur l'environnement. Différentes méthodes ont été développées pour évaluer l'impact environnemental des produits et des procédés. Une analyse comparative de six méthodes est proposée dans (Hertwich et al., 1996).

Nielsen et Wenzel (2002) proposent une démarche de conception intégrant l'évaluation de l'impact environnemental. Ils peuvent alors

identifier les sources d'optimisation de solutions en cours de conception par comparaison à des solutions déjà évaluées.

L'éco-conception impose la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie du produit (LCA : Life Cycle Assessment). Dans cette approche, une vision intégrée est proposée dans (Khan et al. 2004). Un mode d'indexation intégrant les dimensions environnement, santé et sécurité, coût, faisabilité technique et facteurs sociaux politiques est proposé et mis en œuvre.

L'accent est mis sur le choix des matériaux dans (Lin et al., 2003). Les différents indicateurs à prendre en compte ainsi que leur agrégation sont détaillés.

Dans (Hanssen, 1999), l'auteur analyse six différents projets d'éco-conception et propose une classification et des voies de progrès suivant les stratégies et les types de produits. Quatre stratégies sont identifiées : changer les exigences du client ou les limites du système, améliorer la performance ou l'efficacité des produits, substituer ou éliminer des parties du système, optimiser tout ou partie du système. L'application des stratégies est illustrée suivant les types de produits : produits avec réaction chimique, produits stationnaires sans consommation d'énergie, produits stationnaires avec consommation d'énergie, transport de produits avec ou sans consommation d'énergie interne. Pour la conception de « parkings verts », les voies de solutions seraient orientées vers : la diminution de besoins en matériaux, la réduction des matériaux néfastes pour l'environnement, l'amélioration de l'efficacité et de la durée de vie des matériaux, la substitution des matériaux pour des matériaux moins néfastes pour l'environnement et le recyclage des matériaux.

Dans (Rijsberman et al., 2000), les auteurs proposent une synthèse de différentes approches pour la conception et la gestion de systèmes d'eau urbains dans une approche de développement durable. La nature complexe des approches est mise en avant.

3. Eco-conception + innovation = eco-innovation

L'éco-conception s'inscrit dans une logique d'innovation dans un contexte où différents acteurs de différents domaines (conception collaborative) impliqués dans différentes étapes du cycle de vie (ingénierie intégrée) doivent intervenir ensemble. Pour pouvoir concevoir, il faut alors qu'un partage de connaissances des différents acteurs puisse avoir lieu pour laisser la possibilité de création de nouvelles connaissances.

Comme cela a été détaillé dans la partie précédente, il est indispensable de repenser la conception des produits et des procédés en repartant des besoins et avec une approche d'innovation. L'analyse des besoins est

classiquement abordée par l'analyse fonctionnelle. La méthode d'innovation la plus diffusée et la plus prometteuse industriellement est la TRIZ (Savransky, 2000) basée sur l'approche dialectique. La conception de nouveaux produits et de nouveaux procédés plus respectueux de l'environnement s'intègre également dans le domaine de l'éco-conception. Pour développer l'innovation dans ce contexte, Chen et Liu dans (Chen, 2001) proposent une adaptation de la méthode TRIZ en faisant le lien entre les paramètres de conception et les objectifs du développement durable.

Après un bref rappel de ces deux approches, nous proposons de les associer dans une démarche d'éco-conception.

3.1. Approche fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est la méthode d'analyse et de conception la plus couramment utilisée. Depuis son origine dans les 50, elle a connu deux modèles particulièrement diffusés : le modèle FAST et le modèle APTE (graphe des milieux extérieurs). Celui diffusé par la société APTE est particulièrement axé sur l'analyse de l'environnement alors que le modèle FAST est orienté vers une analyse du mode de satisfaction des besoins par des fonctions internes (Delafollie, 2003).

On peut constater qu'il est dans un premier temps plus facile d'identifier l'environnement extérieur ce qui rend le modèle APTE plus aisé d'utilisation dans le cadre d'une conception préliminaire. On peut alors utiliser le modèle FAST pour aller plus en détail dans le mode de satisfaction du besoin.

3.2. Approche dialectique

L'approche dialectique repose sur le fait que le dialogue est indispensable pour bien établir le besoin. En effet, on peut constater la difficulté à exprimer le besoin alors que la critique d'une solution proposée est plus aisée. Un dialogue utilisateur-concepteur est donc indispensable (voir le travail réalisé sur la conception de systèmes d'informations dans (Goepp et al., 2006).

Dans le cas de conception de systèmes complexes, plusieurs disciplines sont impliquées et un dialogue entre les différentes parties est nécessaire.

Le dialogue débouche souvent sur des contradictions qu'il faut résoudre soit par compromis, soit par dépassement de la contradiction comme proposé dans TRIZ.

3.3. Proposition de démarche d'Eco-Conception Innovante (ECI)

Nous proposons ici d'associer l'approche fonctionnelle et l'approche dialectique dans le contexte de l'éco-conception pour innover. Différents auteurs utilisent alors la notion d'éco-innovation (Chang et al, 2004), (Kobayashi, 2006).

Dans (Jones et al., 2001), les auteurs proposent une approche de conception de produits nouveaux dans le respect de l'environnement : éco-innovation. Sur la base des travaux sur les méthodes de conception, les cartes d'idées (Mind maps) et la représentation graphique des impacts environnementaux, ils proposent une nouvelle représentation de la réflexion en éco-conception.

Dans le cas du travail rapporté ici, on propose de réaliser une première analyse des milieux extérieurs et d'en déduire les fonctions principales et les contraintes puis de caractériser et de hiérarchiser les fonctions. Ce modèle APTE permet une communication entre les différents participants du projet.

Le dialogue permet d'affiner le besoin entre les différentes parties prenantes du projet de conception. En effet, dans une logique d'éco-conception, les différentes étapes du cycle de vie du produit doivent être prises en compte et évaluées du point de vue environnemental. Un tel outil de communication inter-disciplinaire est donc indispensable.

Le dialogue permet alors l'émergence des contradictions semblant bloquer la conception de nouvelles solutions. Un travail sur ces contradictions permet alors d'apporter des solutions innovantes.

Les solutions développées doivent alors être mises en œuvre pour être évaluées en situation réelle.

Ces quatre étapes constituent une démarche d'Eco-Conception Innovante telle que représentée en figure 1.

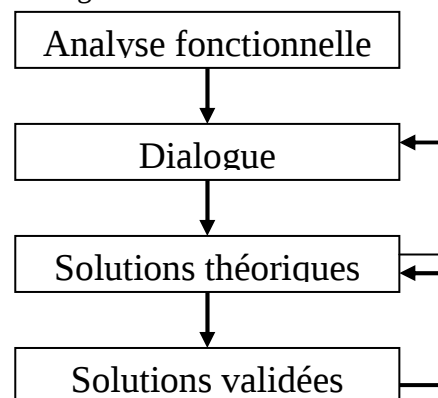


Figure 1. Démarche d'Eco-Conception Innovante.

4. Application : conception d'un Parking vert

4.1. Problématique

La problématique consiste à concevoir un parking plus respectueux de l'environnement par son caractère plus perméable et par l'utilisation de matériaux recyclés : un « parking vert ».

En effet, le caractère imperméable des parkings contribue à une augmentation et une accélération des débits des eaux pluviales dans les zones urbaines pouvant conduire à des catastrophes notamment en cas d'orages.

La conception et la réalisation du parking doivent satisfaire les objectifs du développement durable en utilisant des matériaux et des procédés moins négatifs pour l'environnement, notamment en offrant la possibilité d'y incorporer des matériaux recyclés.

Le parking vert doit également contribuer à la dépollution des sols.

Le parking doit évidemment satisfaire les attentes des parkings classiques : circulation, stationnement, intégration au paysage et ce au moindre coût et dans le respect de la réglementation.

Cette conception complexe demande donc une démarche d'éco-conception innovante (ECI).

4.2. Application de la démarche ECI

Dans un premier temps une analyse fonctionnelle de type APTE a été réalisée (figure 2).

Les fonctions principales ont été définies ainsi que les contraintes. Les fonctions ont été caractérisées (avec des niveaux de flexibilité) et hiérarchisées. Il faut noter que la réglementation intègre les exigences normatives dont les caractéristiques mécaniques attendues.

Cette analyse a permis une communication entre les différentes parties prenantes du projet : génie civil, architecte, utilisateurs, décideurs.

Dans un deuxième temps, une analyse de ce qui rend difficile cette conception a été réalisée. Il ressort que le parking doit à la fois être absorbant et portant et que ces deux caractéristiques sont considérées comme contradictoires.

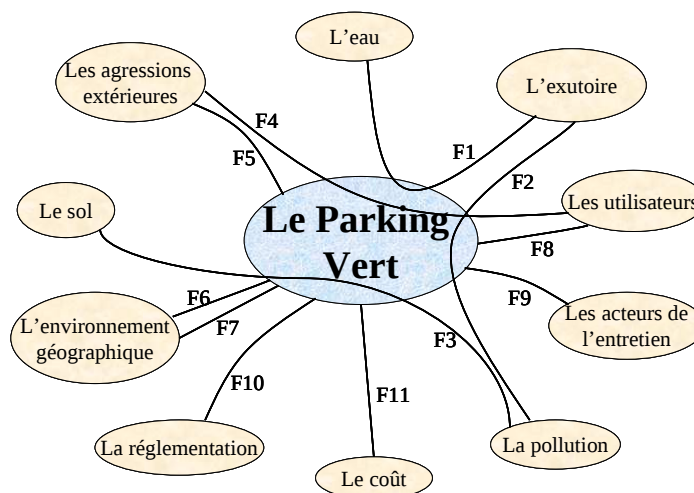


Figure 2. Analyse fonctionnelle du parking vert.

4.3. Premiers résultats

La caractérisation du parking vert a permis de développer et de tester différentes solutions. Sur un site test et en laboratoire, différents matériaux ont été testés.

Une solution prometteuse est une structure constituée d'une sous-couche de RTV 0/60 avec une couche d'un mélange de RBE 0/20 mélangé avec du compost 0/10. Tous ces matériaux sont constitués de matériaux 100% recyclés).

La portance est apportée par le RBE 0/20. Le RBE 0/20 est formé de béton et d'enrobé de démolition (constitué à 100% de matière première recyclée). Le compost 0/10 assure l'absorption de l'eau (ainsi que la possibilité de contribuer à la croissance de végétaux). Le compost 0/10 est constitué d'écorces, de déchets verts et de boues de station d'épuration.

Différentes proportions de compost et de RBE ont été testées.

5. Conclusions

Dans cette communication, nous avons proposé une démarche d'Eco-Conception Innovante combinant l'approche fonctionnelle et l'approche dialectique. Cette démarche a été appliquée à la conception de parkings

verts. Les solutions sont en cours de test réel. Différentes places de parking de l'INSA de Strasbourg sont actuellement réservées pour tester en utilisation réelle les différentes solutions validées sur site test. La pratique permettra de sélectionner les meilleures solutions pour l'utilisation dans ce lieu particulier.

6. Références bibliographiques

- Chang H-T., Chen J. L. (2004), "The conflict-problem-solving CAD software integrating TRIZ into eco-innovation", *Advances in Engineering Software*, Vol. 35, pp. 553-566.
- Chen J. L., Liu C-C., (2001) "An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis", *The Journal of Sustainable Product Design*, vol. 1, pp. 263-272.
- Delafollie G., (2003), "Analyse de la valeur", Hachette.
- Goepp V., Kiefer F., Geiskopf F. (2006), "Design of information system architectures using a key-problem framework", *Computers in Industry*, Vol. 57, pp. 189-200.
- Hanssen O.J., (1999) « Sustainable product systems—experiences based on case projects in sustainable product development », *Journal of Cleaner Production*, vol. 7, pp. 27-41.
- Hertwich E.G., Pease W.S., Koshland C.P., (1996), « Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods », *The science of the total environment*, vol. 196, pp.13-29.
- Jansen L., (2003) « The challenge of sustainable development », *Journal of Cleaner Production*, vol. 11, pp. 231-245.
- Jones E., Harrison D., Mc Laren J., (2001), "Managing Creative Eco-innovation. Structuring outputs from Eco-innovation projects", *Sustainable Product Design*, vol. 1: pp. 27-39.
- Khan F.I., Sadiq R., Veitch B. (2004), "Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making", *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, pp. 59-76.
- Kobayashi H. (2006), "A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning", *Advances engineering Informatics*, Vol. 20, pp. 113-125.
- Lin F., Lin L., (2003), "A discussion of the state-of-art research on environmentally conscious material selection methodologies for the reduction of products' toxic impact", *Journal of Sustainable Product Design*, vol. 3, pp. 119-134.
- Rijsberman M. A., van de Ven F. H.M., (2000), "Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems", *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 20, pp. 333-345.
- Savransky S.D. (2000), "Engineering of Creativity", CRC Press.
- Shu-Yang F., Freedman B., Cote R., (2004), "Principles and practice of ecological design", *Environmental Review*, vol. 12, pp. 97-112.