

CONFÉRENCE

De la Chaire Éco-Conception

28 septembre
2011



L'ECO-CONCEPTION OPÉRATIONNELLE

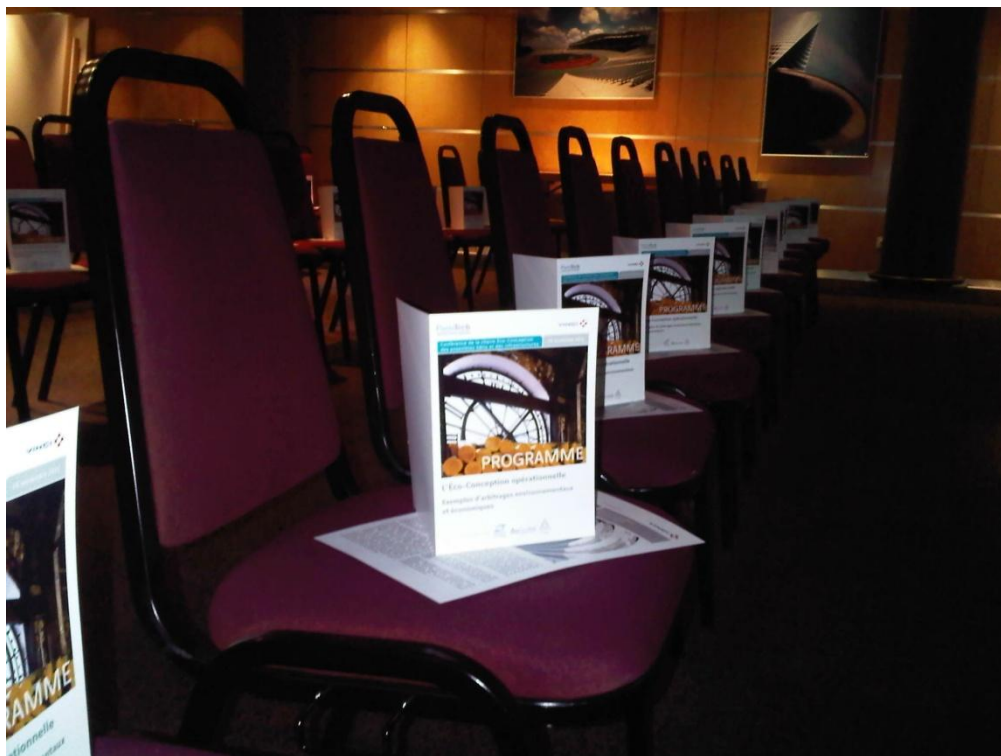
Exemples d'arbitrages environnementaux et économiques

Écoles de ParisTech qui portent la Chaire



Introduction et contexte

La conférence du 28 octobre 2011 est la 9^{ème} organisée sur ce format. Cet évènement est également le 12^{ème} organisé par la Chaire d'Eco Conception des ensembles bâtis et des infrastructures. En effet, il y a aussi eu deux colloques et une conférence d'une journée sur le stockage de l'énergie.



Durant cette soirée, nous aborderons le thème de “l'Eco Conception opérationnelle” ou comment faire le lien entre les recherches théoriques de la Chaire et leurs applications concrètes. Quels sont les arbitrages complexes qui doivent être réalisés entre l'économie et l'environnement?

Trois thèmes seront présentés :

- *L'Analyse économique des projets éco-orientés* par Nicolas COULOMBEL (Laboratoire Ville Mobilité Transport, École des Ponts ParisTech)
- *L'optimisation des programmes de réhabilitation pour les parcs de bâtiments* par Mathieu RIVALLAIN (Unité de Recherche Navier, École des Ponts ParisTech)
- *La question de la biodiversité dans l'Eco-Conception des bâtiments* par Marc BARRA (Natureparif)

Analyse économique de projets éco-orientés et sélection des investisseurs



Analyse économique de projets éco orientés et sélection des investisseurs

Nicolas Coulombel LVMT



Nicolas Coulombel, LVMT - école des Ponts ParisTech

Les villes représentent un enjeu majeur pour le développement durable. De fait, la population urbaine mondiale est toujours croissante : 50% actuellement, 60% en 2025, 70% en 2050. Les villes ont donc un « surpoids environnemental » par rapport au rural. Elles consomment 75% de l'énergie mondiale, et produisent 80% des émissions de GES.

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Contexte général

VINCI

- Villes : enjeu majeur pour le développement durable
 - Une population urbaine mondiale toujours croissante
 - 50% actuellement
 - 60% en 2025
 - 70% en 2050
 - Un « surpoids environnemental » par rapport au rural
 - 75% de l'énergie mondiale, 80% des émissions de GES

Billion inhabitants

Year	Total Population (Billion)	Urban (%)	Rural (%)
2005	6.5	49%	51%
2025	8.0	57%	43%

Il existe une diversité de solutions pour maîtriser l'impact environnemental des villes: Quelles solutions faut-il choisir ? Ici nous parlerons de l'approche économique: courbe de coût marginal de réduction. C'est un outil désormais standard via une comparaison coût – réduction, et qui permet une approche globale. Dans cet exposé, nous illustrerons la méthode avec le cas de Londres en s'inspirant du rapport « Sustainable Urban Infrastructure » de McKinsey

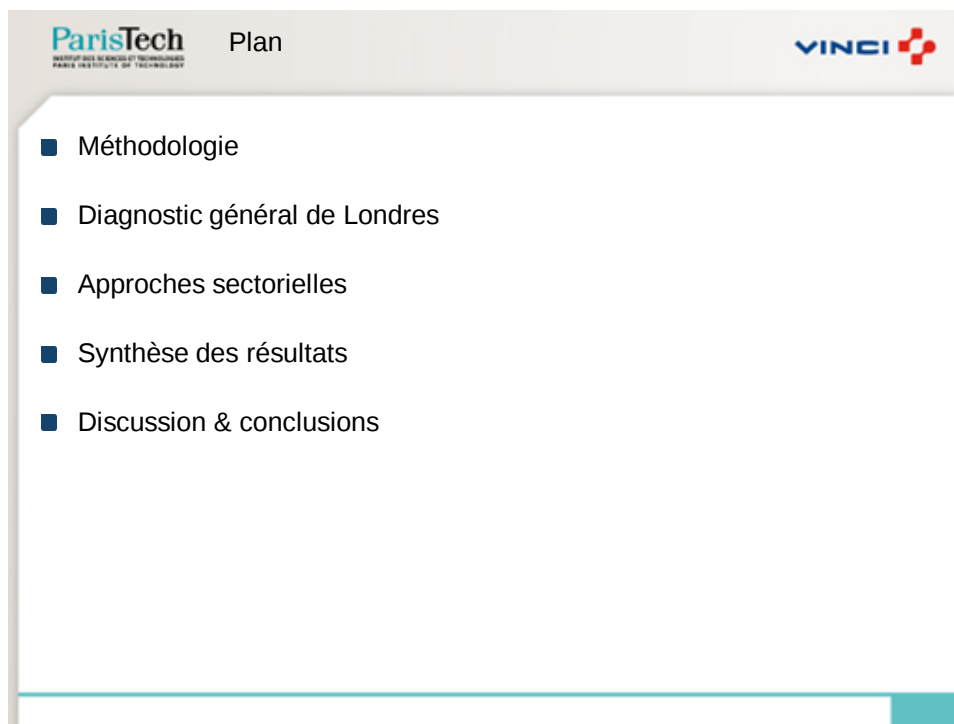
ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Problématique

VINCI

- Diversité de solutions pour maîtriser l'impact environnemental des villes: lesquelles choisir ?
 - Approche économique: courbe de coût marginal de réduction
 - Outil désormais standard
 - Comparaison coût – réduction
 - Permet une approche globale
- Illustration de la méthode dans le cas de Londres
 - Rapport « Sustainable Urban Infrastructure » de McKinsey

La présentation sera divisée comme suit : Tout d'abord nous présenterons la méthodologie, feront un diagnostic général de Londres, mèneront des approches sectorielles avant de faire une synthèse des résultats. Cette présentation sera suivie d'un temps de discussion et de questions.



Le champ d'étude sera la ville de Londres et nous nous concentrerons sur la dimension environnementale du développement durable : émissions de GES, eau et déchets.

Trois types d'indicateurs vont être développés :

- l'empreinte environnementale par personne. Ce sont par exemple les émissions de CO₂ liées au transport par personne ;
- des indicateurs de demande, qui visent à mesurer la demande de manière intensive – par exemple, les kilomètres par voyageur –, ou extensive, donc, correspondant au total de voyageurs par kilomètre ;
- des indicateurs d'efficacité globale, qui visent à analyser de quelle manière on répond à la demande et avec quelle efficacité. Par exemple, le nombre de tonnes de CO₂ par voyageur au kilomètre – en l'occurrence, ce serait plutôt le nombre de grammes, a priori.

 Champ



- Cas d'étude : Londres
- Focus sur la dimension environnementale du DD
 - Emission de GES (CO₂) + eau & déchets
- Emissions « directes »
 - Pas de calcul des émissions liées à la production des biens primaires, intermédiaires et finaux
- 3 types d'indicateurs
 - Empreinte environnementale par personne
 - Demande
 - Efficacité globale

Pour cet exercice, il est important de définir un scénario de référence. Puisque l'on veut observer l'impact d'un certain nombre de mesures, on les regarde par rapport à quelque chose, donc par rapport à ce scénario de référence, qui est assez central sur ce que l'on va mesurer. En l'occurrence, c'est un scénario relativement au fil de l'eau qui a été choisi. Nous pourrions y revenir.

Il y a des hypothèses démographiques sur le plan macro qui ont été réalisées par des modèles. Sur le prix du pétrole, par exemple, ils ont fait une hypothèse : ils ont regardé à l'Agence internationale de l'énergie et ont fixé le prix du baril à 60 \$ sur toute la période de 2020 à 2025. Ou bien, ils ont pris des choix technologiques constants. Sur les achats de véhicules automobiles, ils ont considéré que la structure actuelle des achats, en termes de Diesel, d'essence et d'hybride, resterait la même jusqu'en 2025, sauf si l'on mettait en place certaines mesures. De la même façon, on considère que les comportements de consommation restent constants, notamment en termes de chauffage. Cela fait partie des limites que j'évoquerai ultérieurement.

Ils ont aussi pris en compte les projets en cours pour la ville de Londres, mais uniquement ceux qui étaient adoptés ou très sûrs et non les projets moins probables.

 ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Scénario de référence

 VINCI

- Définition d'un « *baseline scenario* » jusqu'à 2025
 - Changements mesurés en différentiel par rapport à ce scénario
- Scénario globalement fil de l'eau
 - Hypothèses démographiques
 - Hypothèses macro-économiques: emploi, prix du pétrole, ...
 - Choix technologiques constants
 - Pas de changement des comportements
 - Projets en cours ou fortement probables pris en compte
 - Sinon, pas de mesures additionnelles

Dans chacun des trois secteurs du bâtiment, du transport et de l'énergie, on commence par établir un diagnostic, à partir duquel on identifie un certain nombre de leviers d'action. Seuls ont été observés ceux qui peuvent avoir un impact d'ici à 2025. Les technologies les moins matures n'ont pas été prises en considération. Ensuite est établie une courbe de coût marginal de réduction. Cette approche est centrée sur le décideur, notamment s'agissant de la mesure des coûts ; on ne cherche donc pas à mesurer le coût social des choses. Nous pourrions peut-être en parler dans la discussion.

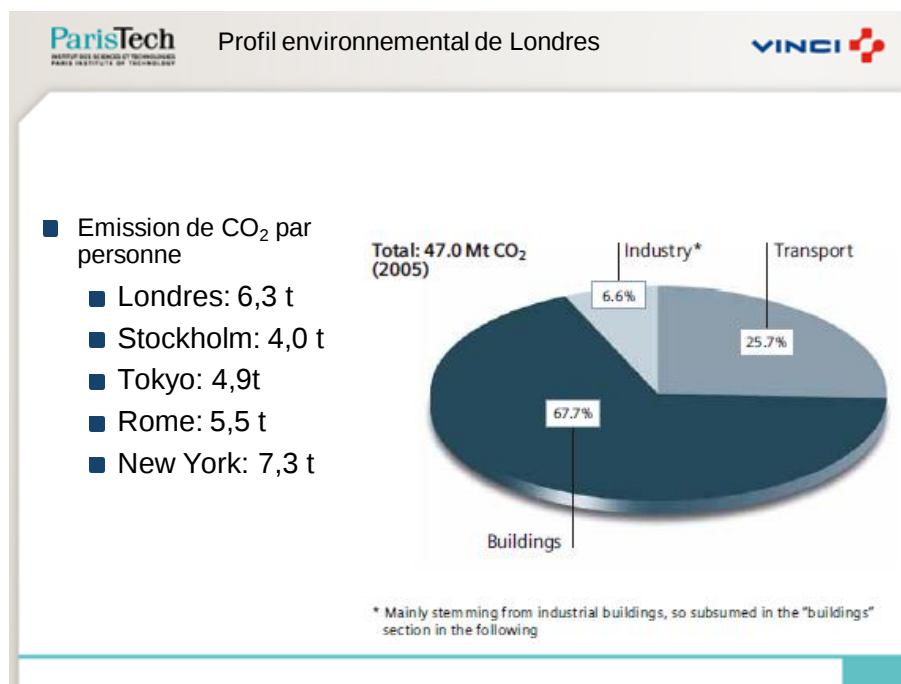
 ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Méthodologie

 VINCI

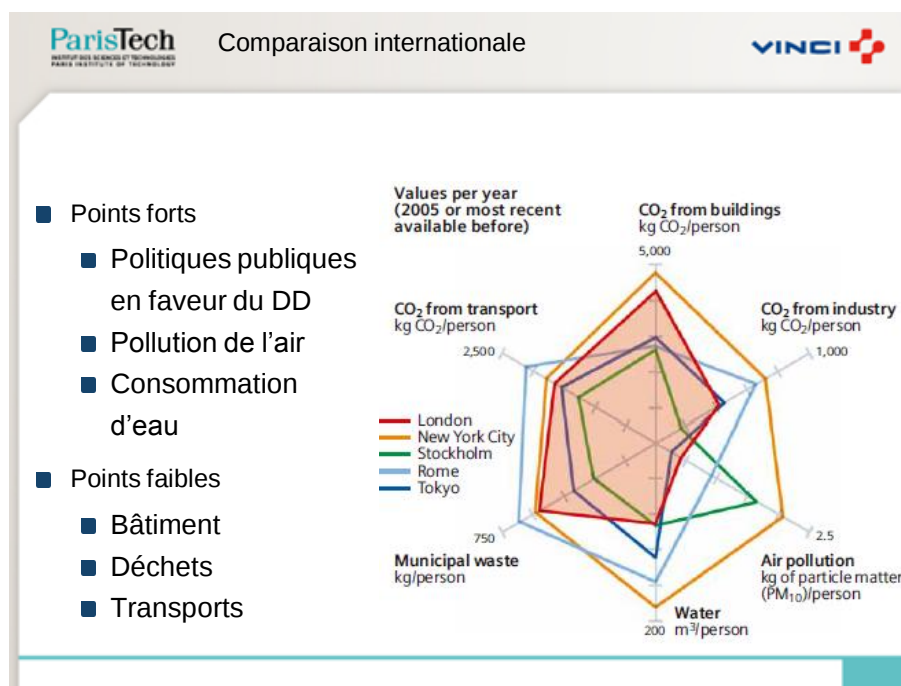
- 3 secteurs
 - Bâtiment
 - Transport
 - Energie
- Pour chaque secteur
 - Diagnostic
 - Identification de leviers d'action
 - Etablissement d'une courbe de coût marginal de réduction
- Approche centrée sur le décideur
 - Coût social non calculé

Pour Londres, les chiffres que je vous fournis ont été estimés par McKinsey grâce à des données qui leur avaient été données par la Greater London Authority, notamment. Ils sont parvenus au chiffre de 47 millions de tonnes de CO₂ par an pour l'année 2005, dont 70 % peuvent être imputés au bâtiment, 26 % au transport et 7 % à l'industrie.



Par rapport à d'autres villes internationales, Londres figure plutôt parmi les mauvais élèves, dépassant Stockholm, Tokyo... Seuls les chiffres de New York sont supérieurs à ceux de Londres. La comparaison a été établie avec des villes plutôt développées.

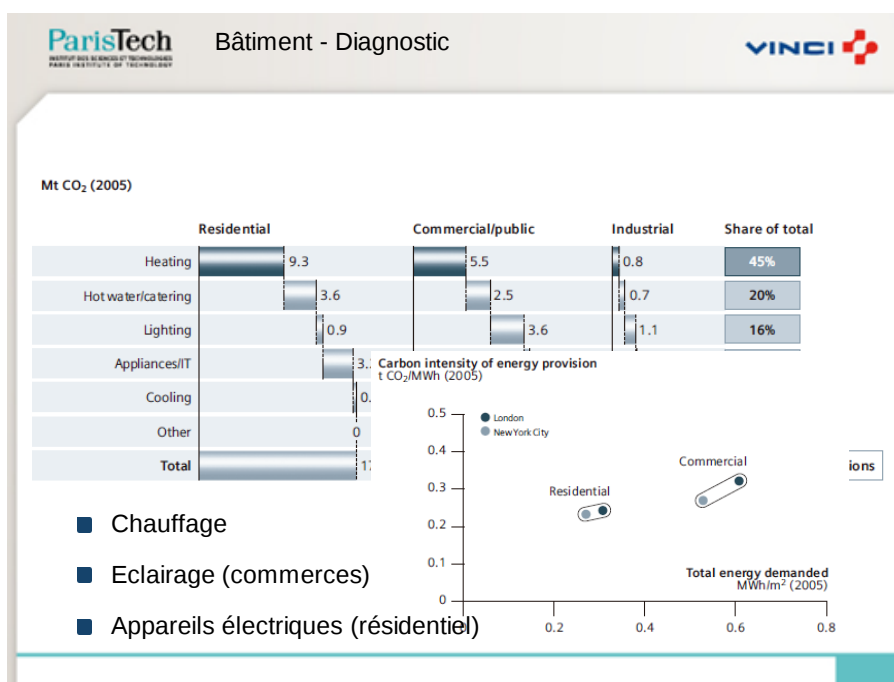
De manière plus détaillée, ce diagramme en araignée représente les émissions de CO₂ par secteur, la pollution de l'air, avec les émissions de particules, les déchets et la consommation d'eau. L'étude montre que par rapport aux autres villes, Londres est assez avancée en termes de politique publique en faveur du développement durable ; on le retrouve dans les schémas d'aménagement et tous les documents de planification. S'agissant de la consommation d'eau et surtout, de la pollution de l'air, elle est plutôt bonne élève. En revanche, les résultats relatifs aux émissions de CO₂ – surtout au niveau du bâtiment – et aux déchets sont les plus faibles. Ceci justifie que nous ne nous attardions pas sur la pollution de l'air, mais que nous nous focalisions sur les émissions de CO₂, sur les déchets et sur l'eau.



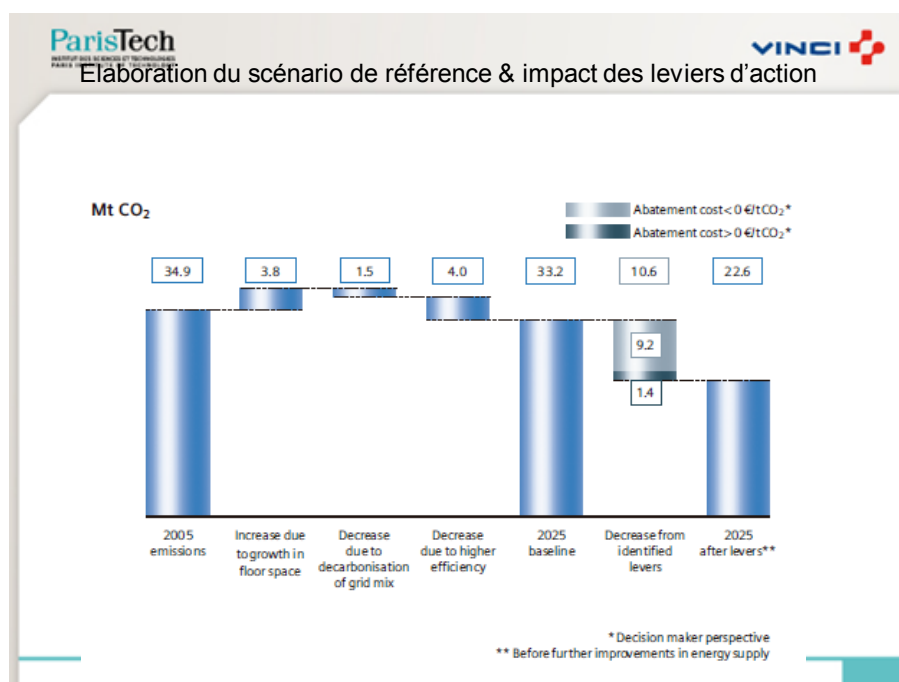
Je vais présenter en détail le secteur du bâtiment, puis, j'exposerai rapidement la question des transports et de l'énergie, que je ne développerai pas.

Dans le domaine du bâtiment, nous avons décomposé les émissions par sous-secteurs : résidentiel, industriel, commerces, administration. Le chauffage est le premier poste d'émission, suivi par l'éclairage, essentiellement pour les commerces et tous les bâtiments professionnels autres qu'industriels. Le troisième poste est celui des *appliances* ; ce sont les appareils électriques dans le secteur résidentiel. Nous avons donc un premier diagnostic, et les mesures les plus efficaces seront certainement celles qui y répondent.

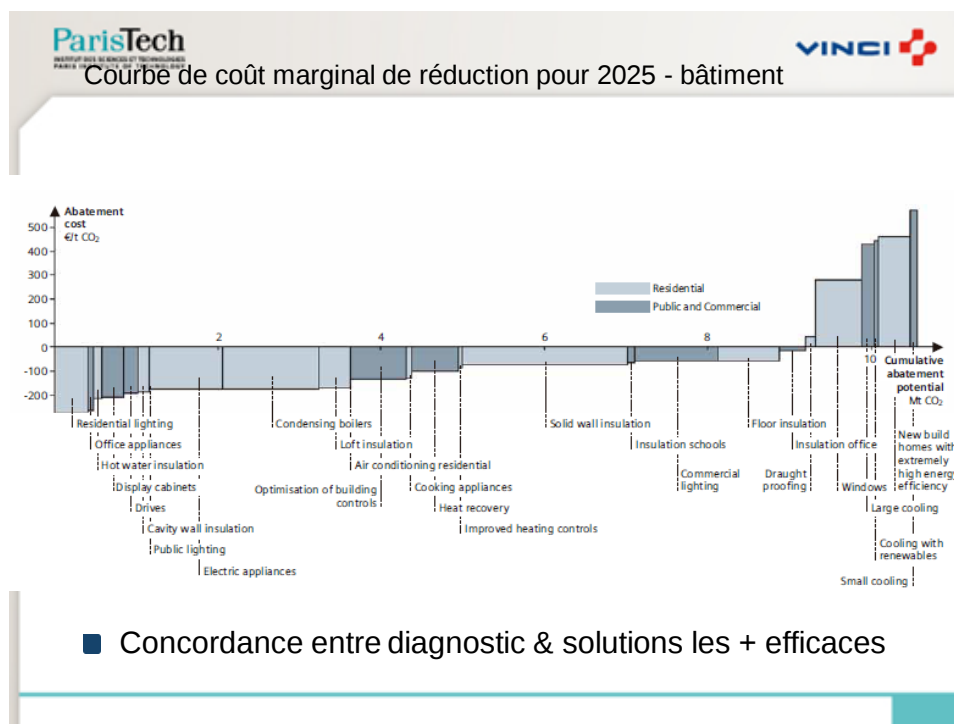
S'agissant des indicateurs d'efficacité, nous avons essayé de comparer Londres à New York. Sur le diagramme, l'énergie demandée en mégawatt-heure par mètre carré figure en abscisse. On peut observer que Londres est un peu plus énergivore, si l'on rapporte au mètre carré, puisque New York a davantage de mètres carrés de bâtiments. Le CO₂ produit par mégawatt-heure demandé, qui figure en ordonnée, montre qu'à Londres, en outre, l'énergie est produite de manière plus polluante.



Après le diagnostic, il faut élaborer un scénario de référence. Vous avez à gauche la situation en 2005 et là, le scénario de référence. Nous allons prendre en compte, par exemple, l'évolution du parc immobilier. Dans les hypothèses démographiques et macro, on prévoit une croissance de 10 % de la population et de 20 % en emplois, ce qui génère une augmentation du nombre de mètres carrés du parc immobilier et automatiquement, une hausse des émissions : *increase due to growth in floor space*. En revanche, du fait de l'augmentation de l'efficacité énergétique des bâtiments et de l'adoption progressive de technologies moins polluantes, dans le scénario au fil de l'eau, il y a une légère baisse des émissions de CO₂ liées aux bâtiments. On observe une légère baisse en 2025 dans le cas du scénario de référence et si l'on met en place tous les leviers qui seront proposés, nous aurons une baisse supplémentaire. On distinguera les leviers qui ont un coût positif et ceux qui ont un coût négatif.

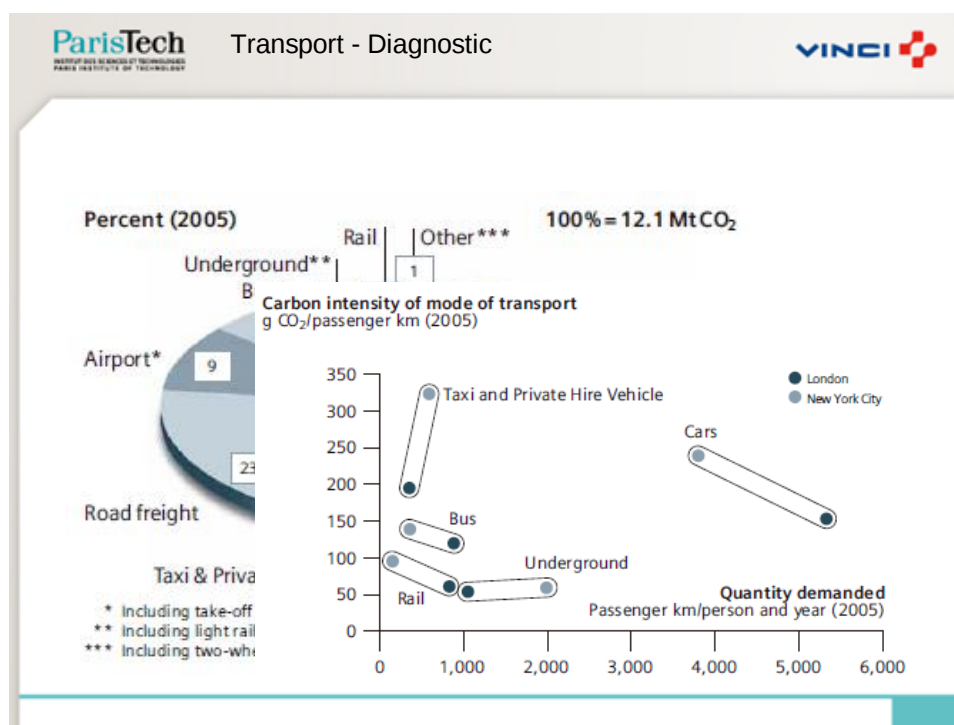


La dernière phase de la méthode est l'élaboration de la courbe de coût marginal de réduction, qui est l'élément central.

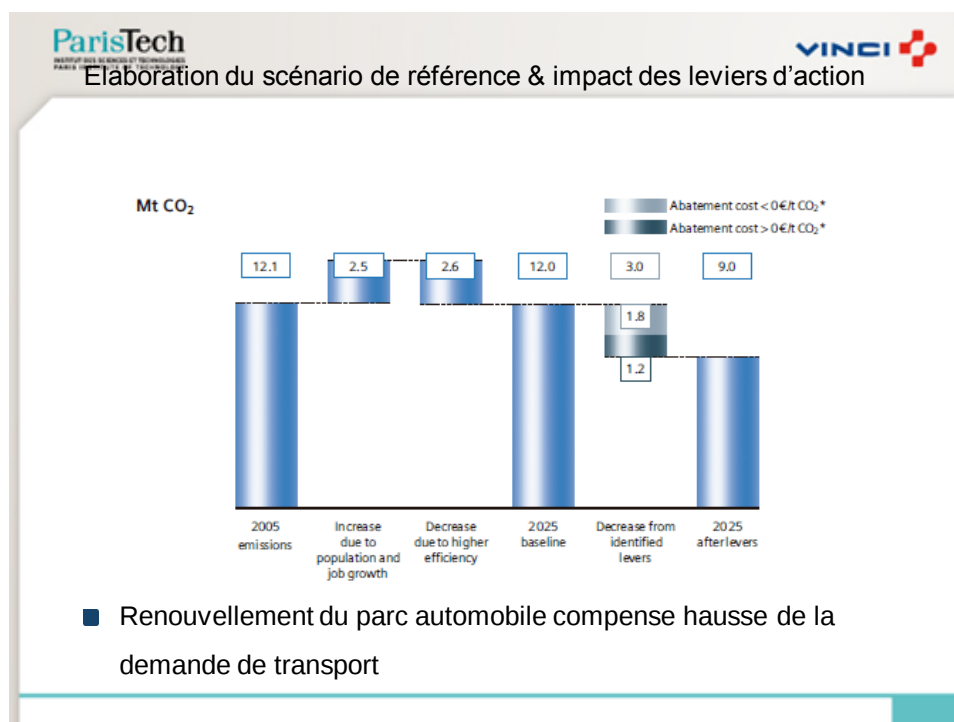


Chaque bâton du diagramme représente une mesure : isolation du sol, isolation des murs, appareils électriques moins énergivores (lave-linge, lave-vaisselle)... La largeur d'un bâton représente le potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre. On constate par exemple que l'isolation des murs est identifiée comme étant une mesure susceptible d'avoir un impact extrêmement important en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre. En abscisse est indiqué le coût annuel de la mesure par tonne de CO₂ en moins. Vous voyez les mesures qui ont un coût positif, qui sont effectivement coûteuses. Mais on peut s'étonner du grand nombre de mesures – la plupart – qui génère des économies sur le long terme. Le coût annuel tient compte de l'investissement et ensuite, on regarde les réductions sur le fonctionnement. Il en résulte que ces mesures ont un coût négatif. Les mesures en question sont des mesures qui sont liées à l'éclairage des logements. Le remplacement des anciennes ampoules par des ampoules plus efficaces en termes d'économie d'énergie va permettre de réduire de manière significative les émissions de gaz à effet de serre. En outre, cela va donner lieu à des gains financiers importants. Dans le cas du bâtiment, les mesures identifiées comme étant les meilleures ou, en tout cas, qui sont dotées du plus grand potentiel de réduction, sont surtout celles qui ont rapport à l'isolation ou aux appareils électriques. En matière d'éclairage, il y a un potentiel de réduction modérément important, mais les économies générées sont très significatives. En revanche pour les surfaces commerciales et les entreprises, l'éclairage offre un potentiel important, mais coûts sont moindres.

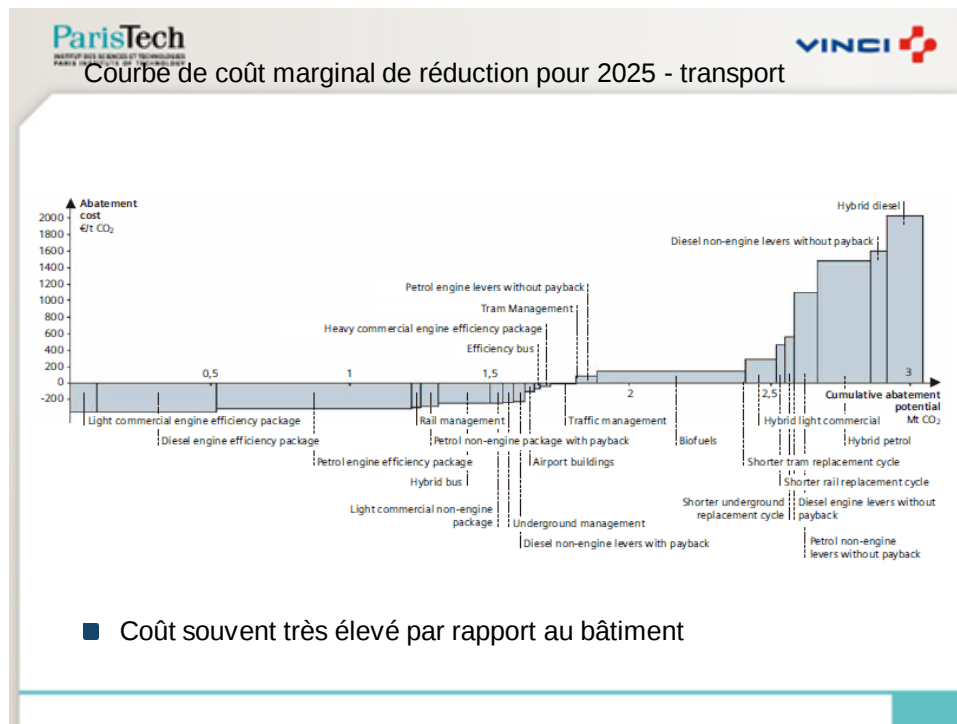
On peut pratiquer le même exercice pour les transports, en commençant par la réalisation d'un diagnostic. Dans ce secteur, en termes d'efficacité, Londres est nettement meilleure que New York, si l'on considère le nombre de grammes de CO₂ par voyageur au kilomètre. Pour la plupart des modes de transport, Londres se situe en dessous.



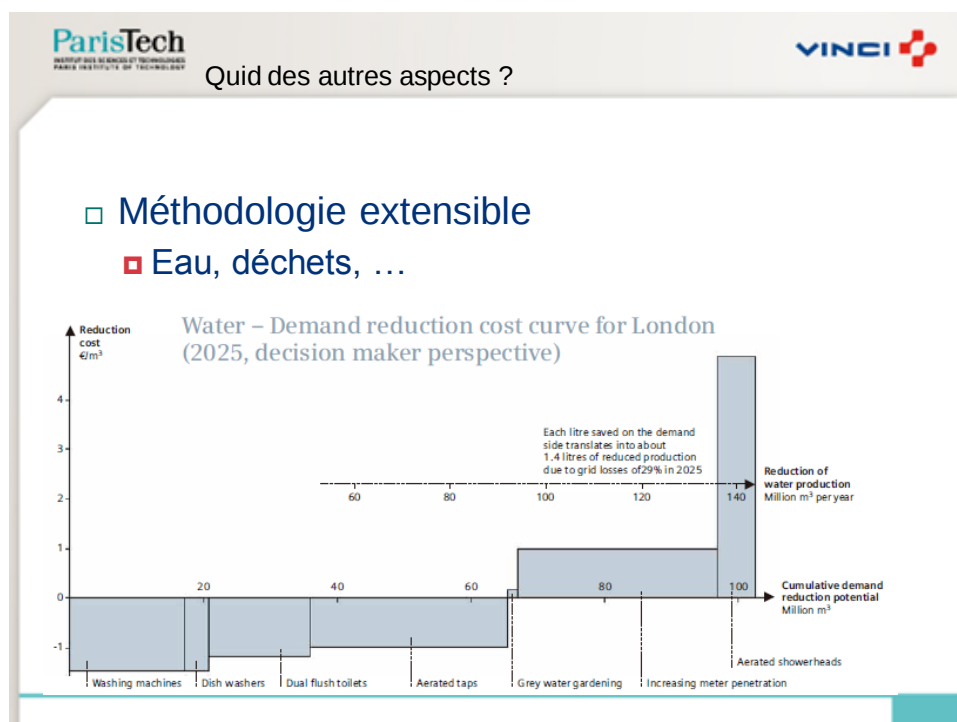
Le scénario de référence prévoit qu'en 2025, les émissions de CO₂ liées au transport vont rester stables par l'effet d'une hausse de la demande, liée au fait qu'il y aura davantage d'emplois et de population, d'une part, et d'autre part, du renouvellement du parc automobile. Le fait que les véhicules les plus polluants sortent du parc permettra de réduire les émissions de gaz à effet de serre.



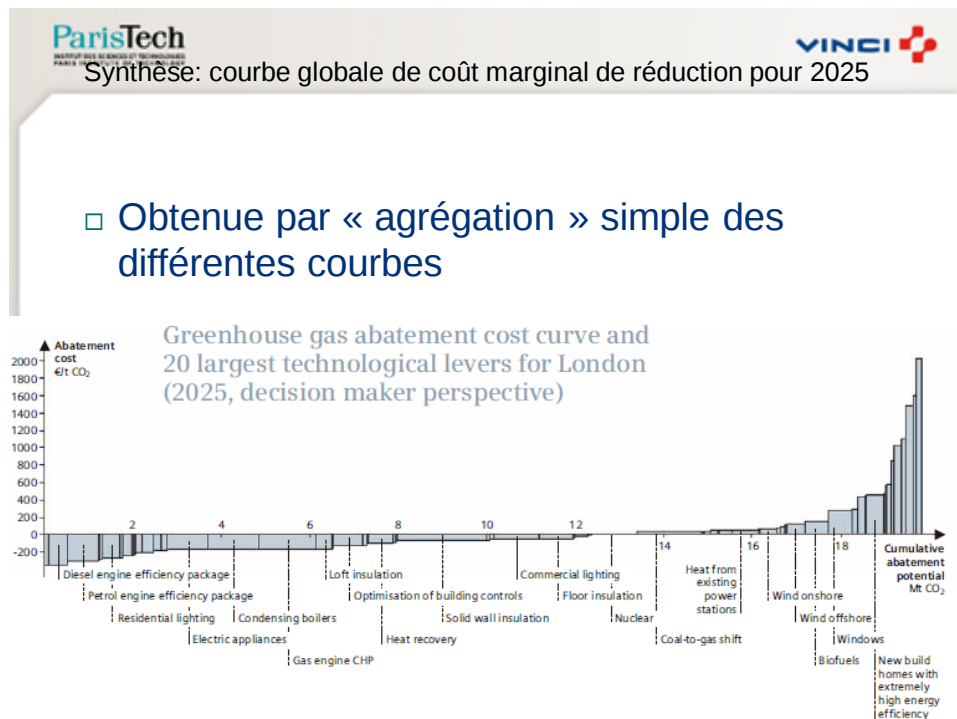
La courbe de coût marginal de réduction, par rapport à celle du bâtiment, indique un coût souvent plus élevé, notamment celui, extrêmement important, des véhicules hybrides, qui, bien qu'à la mode, n'apparaissent pas du tout comme une solution intéressante. Quant aux biocarburants, ils sont modérément intéressants. Ce sont plutôt les mesures portant sur l'efficacité énergétique des véhicules existants, Diesel et à essence, qui sont les plus intéressantes.



Cette méthode est assez générique et peut être employée pour l'eau, pour les déchets...



On peut aussi très simplement agréger toutes les courbes, ou se fixer en abscisse un certain objectif de réduction des émissions et calculer le coût induit de la tonne de CO₂ pour pouvoir mettre en place toutes ces mesures.



Vous voyez la liste des vingt mesures qui apparaissent comme présentant le plus fort potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Un effort de chiffrage a été réalisé. Si l'on considère les mesures ainsi identifiées non plus par rapport au coût annuel, mais par rapport aux dépenses d'investissement – puisqu'ensuite, il y a éventuellement des économies –, l'ensemble des mesures représentent 41 Md€, soit moins de 1 % du PIB londonien sur toute la période de 2005 à 2025 et moins de 300 € par habitant et par an. L'élément marquant est que 70 % des mesures, au final, ont un coût négatif.

ParisTech
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Coût d'implémentation total

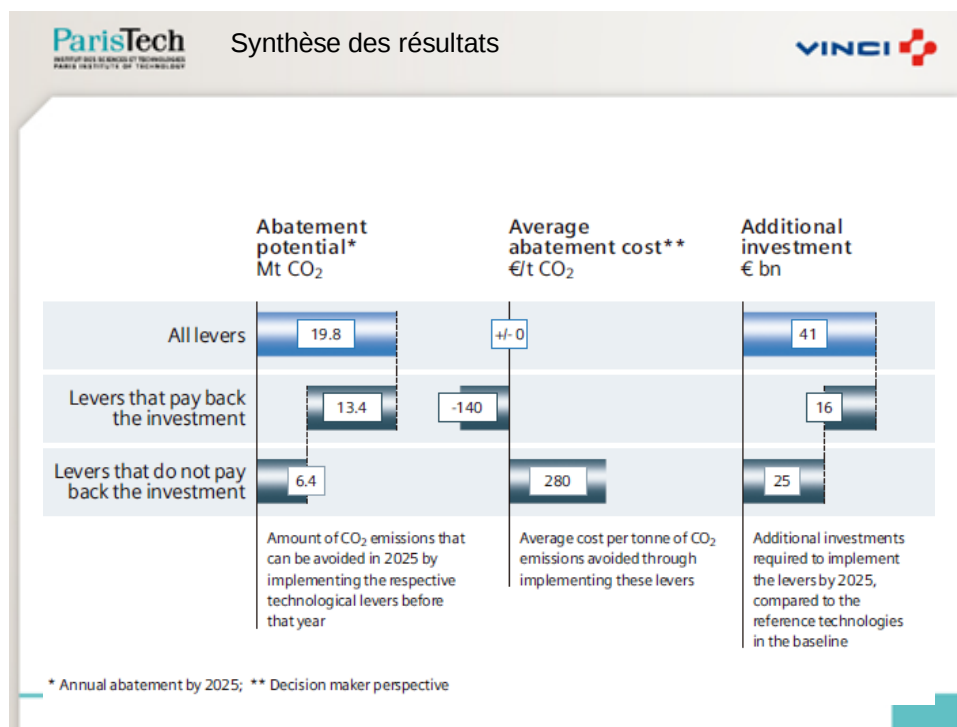
VINCI

- Investissement
 - 41 milliards d'€ d'ici 2025
 - < 1% du PIB londonien
 - <300 € par habitant par an
- Coût : 70% des leviers dégagent un bénéfice net
 - Au total: gain de 1,8 milliards d'€ par an (pour ces 70% seulement)

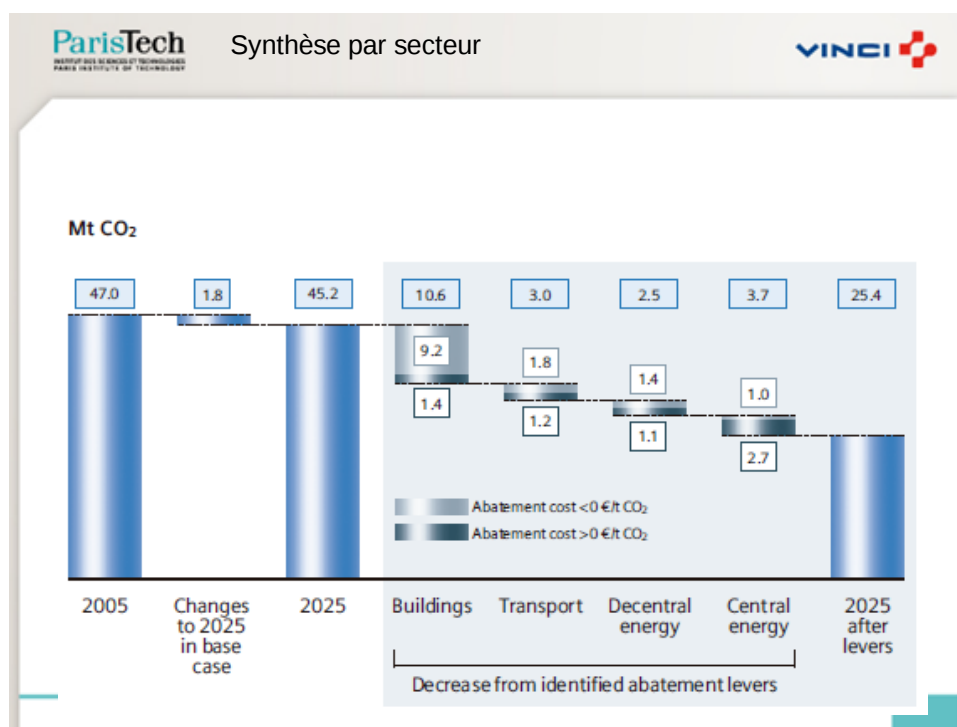
On peut se demander pourquoi ces mesures ne sont pas implémentées immédiatement. J'évoquerai la question ultérieurement.

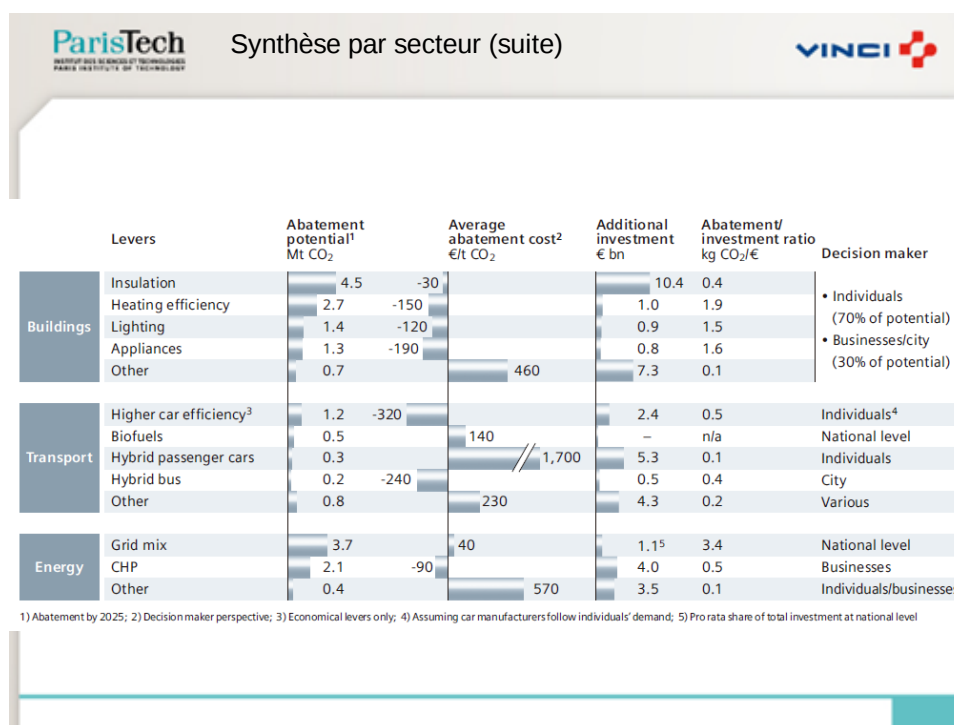
Les résultats peuvent être synthétisés de différentes manières. Par exemple, on peut faire un effort de synthèse entre les mesures qui ont un coût positif et négatif, voir l'investissement, le potentiel de réduction. En 2005, nous étions à 45 millions de tonnes de CO₂. Avec toutes ces mesures, on pourrait réduire ce chiffre quasiment de moitié, sachant qu'en 2025, pour le scénario de référence, c'est assez stable, par rapport à 2005.

En séparant les mesures à coût positif et les mesures à coût négatif, on peut voir quel est le coût moyen par tonne de CO₂. Vous voyez ici l'investissement et là, le coût annuel, qui tient compte des frais de fonctionnement.



L'évolution secteur par secteur peut être étudiée de la même façon.





S'agissant des freins d'implémentation, le premier que l'on peut citer est celui des problèmes de liquidités, surtout dans la situation actuelle, où il y a une certaine contrainte sur l'argent public. Je ne connais pas le contexte londonien mais en France, c'est assez clair. À Berlin, dès 1996, un programme avait été mis en place, intitulé : *Energy Saving Partnership Berlin*, consistant à vendre les économies d'énergie. La ville avait pris un ensemble de partenaires qui la conseillaient et la finançaient. Elle était sûre d'avoir une baisse de 25 % sur sa facture d'énergie et en contrepartie, tout le reliquat des économies d'énergie revenait aux partenaires, qui touchaient les économies additionnelles pendant douze ans. Au terme des douze années, Berlin récupérait la propriété de tous les équipements. Cette méthode permettait ainsi à Berlin, qui manquait de capacités de financement, de financer ce genre de projets.

On retrouve des financements similaires pour les entreprises. Aujourd'hui, des choses se mettent en place mais à l'époque, il y avait peu de mécanismes pour les particuliers autres que le prêt classique, qui peut générer des problématiques. Ainsi, il est difficile, pour un accédant à la propriété, de se surendetter par rapport à son prêt principal. Une autre difficulté réside dans la disjonction qu'il peut y avoir entre investisseur et bénéficiaire ; c'est typiquement le cas entre le propriétaire et le locataire. Si le propriétaire investit dans de meilleurs radiateurs, c'est le locataire qui bénéficie d'économies d'énergie. Comment inciter le propriétaire à le faire ? Il faut qu'il y ait pour lui un retour d'investissement. D'où la nécessité d'améliorer la visibilité et l'information sur la performance énergétique du logement, par exemple. À Londres, un programme a été réalisé dans ce sens : *Better Building Partnership*.

 ParisTech
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Freins à l'implémentation

 VINCI

Un autre problème assez important est l'inertie liée au coût de l'information. Pour les particuliers comme pour les entreprises, s'informer prend du temps, on n'en a pas forcément envie et souvent, on n'a pas bien conscience du montant des économies que l'on peut faire. Il y a tout un ensemble de programmes qui ont été développés dans d'autres villes, à Londres, à Saint-Cabourg ou aux Pays-Bas afin de faciliter le plus possible la démarche pour les entreprises et les individus et proposer des solutions clé en main. Aux Pays-Bas, le programme va jusqu'à proposer des financements pour que l'individu n'ait quasiment rien à faire. Tout lui est prémâché. Les économies d'énergie permettront éventuellement de financer le programme.

D'autres questions sont un peu plus difficiles à traiter. Pour certains postes où le poids budgétaire est assez faible, on considère souvent que l'élasticité au prix de ces postes est minime, que les gens ne s'en occupent pas beaucoup et qu'il y a donc peu de moyens d'infléchir leur comportement, de les inciter à investir sur ces postes.

Par ailleurs, dans les villes, la problématique majeure est la diversité des acteurs : les collectivités territoriales, les individus, les entreprises... Il y a là des difficultés de gouvernance qui ne sont pas résolues mais qui pourraient faire l'objet de recherches en vue de l'améliorer.

The slide is titled "Freins à l'implémentation (2)" and features the ParisTech logo on the top left and the VINCI logo on the top right. The content is organized into a bulleted list:

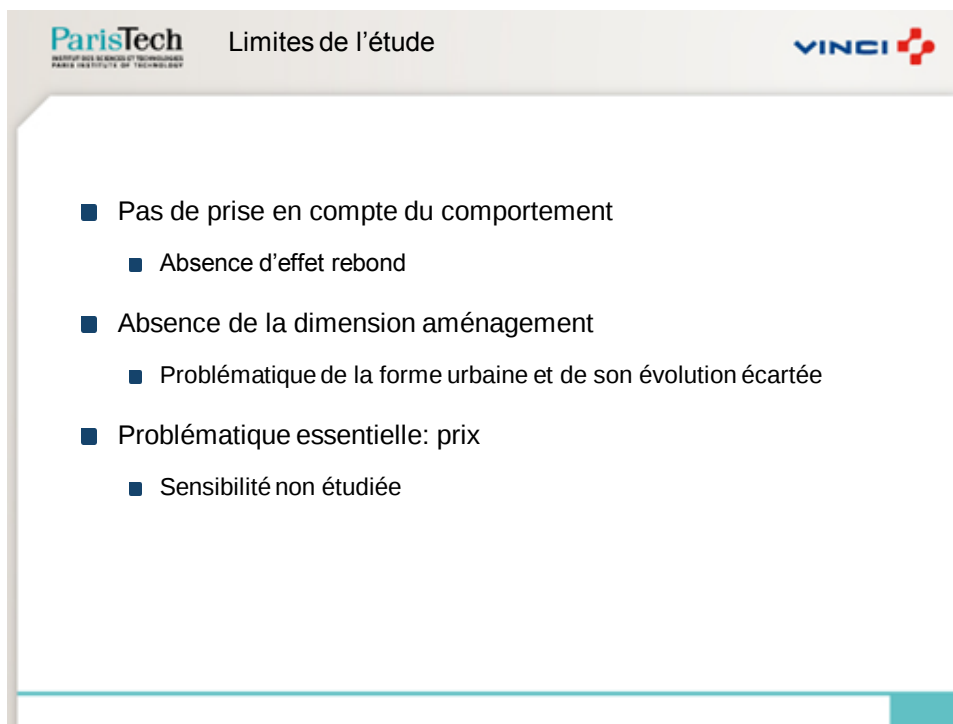
- Inertie liée aux coûts de l'information
 - Solutions: programme d'information
 - Diagnostic énergétique du bâtiment (Singapour)
 - *Green Homes Concierge Services* (Londres)
 - *Meer met Minder* (Pays-Bas)
- Psychologiques
 - Postes de faible poids budgétaire seraient peu sensibles au signal prix
- Diversité des acteurs

La principale innovation de cette méthode ne réside pas tant dans la courbe de coût marginal de réduction, qui existait déjà auparavant, que dans la systématisation de l'approche et l'évaluation d'un ensemble de mesures pour obtenir une courbe intersectorielle et en outre, au niveau d'une ville. Mais ceci amène plusieurs limites.

Première limite : ils n'ont pas cherché à prendre en compte les comportements et en particulier, l'effet rebond : si vous améliorez l'efficacité énergétique d'un logement, par exemple, cela peut pousser les gens à surchauffer, à être moins regardants quand ils ouvrent les fenêtres, etc.

Deuxième limite : l'absence de prise en compte de l'aménagement. Il n'y a pas eu de réflexion sur la forme urbaine et son évolution ni sur l'impact sur la demande de transport et la consommation d'énergie. On sait en effet que la forme urbaine, notamment la densité, peut avoir un impact sur la consommation des bâtiments.

Troisième limite : une certaine opacité sur la manière dont les prix et les coûts ont été déterminés, alors que c'est un élément essentiel de l'approche. D'ailleurs, en France, l'un des problèmes auxquels nous sommes confrontés est d'avoir des éléments sur les coûts et les prix.



The slide is titled "Limites de l'étude" (Limits of the study). It features the ParisTech logo on the top left and the Vinci logo on the top right. The main content is a bulleted list of limitations:

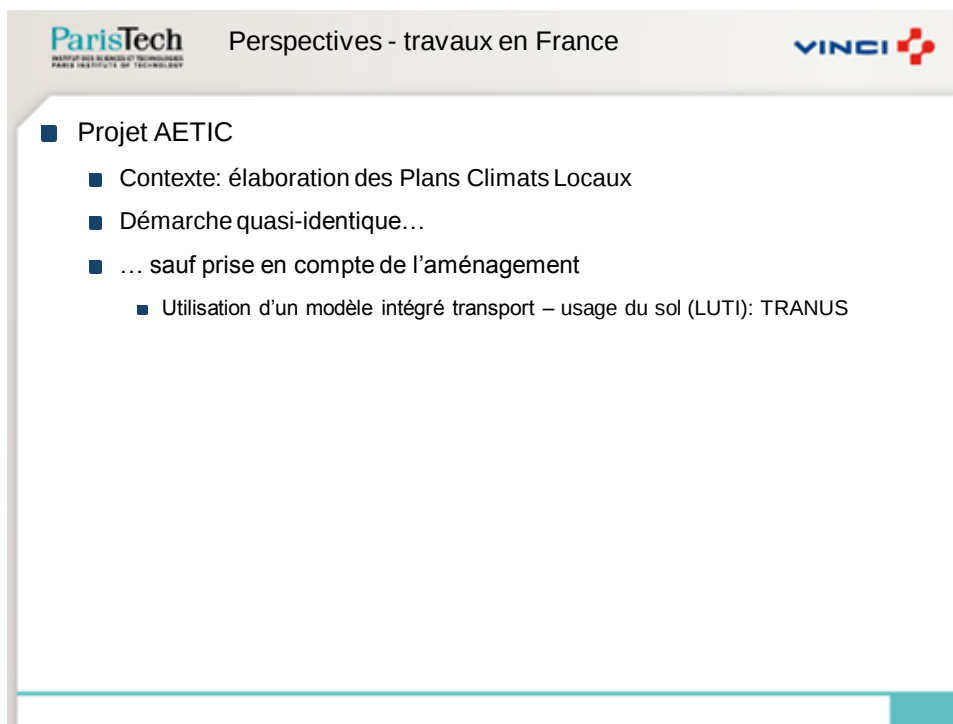
- Pas de prise en compte du comportement
 - Absence d'effet rebond
- Absence de la dimension aménagement
 - Problématique de la forme urbaine et de son évolution écartée
- Problématique essentielle: prix
 - Sensibilité non étudiée

De même, il manque, dans la méthode, une étude de sensibilité par rapport au prix du pétrole. Son influence n'a pas été testée.

En France, il y a actuellement un projet de recherche qui s'appelle Aetic, à Grenoble, qui est assez similaire à ce que je viens de présenter. Il a été lancé dans le contexte de l'élaboration des « plans climat » locaux et vise également à établir une courbe de coût marginal de réduction intersectorielle, mais avec l'objectif supplémentaire de prendre en compte l'aménagement du territoire et d'analyser l'impact de différents scénarios d'aménagement.

La modélisation est plus compliquée, puisqu'il faut utiliser des modèles intégrés de transport et d'usage du sol – ce qui correspond d'ailleurs davantage à mon domaine de compétence. Dans le cadre du projet Aetic, on a utilisé le modèle Tranus. Chez Cofiroute et Vinci, un modèle est également en cours d'élaboration, intitulé Pirandello, qui pourra être utilisé de la même manière. Il s'agit, dans les scénarios d'aménagement, d'étudier l'impact sur la forme urbaine, sur la demande de transport, sur la consommation d'énergie des bâtiments dans les quartiers, pour franchir un pas supplémentaire.

Pour l'instant, ce projet relève encore de la recherche. L'idée est d'avoir un outil clé en main qui pourra être reproductible sur les agglomérations, notamment pour élaborer leurs « plans climat » locaux.



ParisTech
UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Perspectives - travaux en France

VINCI

- Projet AETIC
 - Contexte: élaboration des Plans Climats Locaux
 - Démarche quasi-identique...
 - ... sauf prise en compte de l'aménagement
 - Utilisation d'un modèle intégré transport – usage du sol (LUTI): TRANUS

Christian Caye, délégation au développement durable, VINCI

Je me souviens d'une session de la Fabrique de la Cité, il y a deux ou trois ans, qui portait sur des thèmes un peu équivalents. J'étais intervenu sur le cas de Londres, non à partir de l'étude McKinsey, mais d'un travail réalisé par la fondation Clinton, avec C 40. La conclusion était la suivante : si vous aviez trois euros à investir, sur quelle action mettriez-vous un euro, un euro et un euro ? Réponse : la sensibilisation du citoyen, la sensibilisation du citoyen, la sensibilisation du citoyen. En termes de rendement, s'il y avait un euro à investir, il devait cibler le comportement des individus. Vous l'avez mentionné en disant qu'il fallait aussi prendre la sociologie en considération.

Par ailleurs, on part du scénario comme si rien n'avait changé. On prend en compte le prix du baril, la démographie, etc., mais il y a d'autres paramètres. Comme il s'agit de CO₂, je sais que les changements climatiques n'arriveront pas d'ici 2025, mais ils vont survenir à plus ou moins courte échéance. Or, ils ne sont pas pris en considération. Dans les scénarios d'adaptation climatique, je n'ai pas senti que l'on en discutait et que l'on en tenait compte.

Nicolas Coulombel

En l'occurrence, cela n'a en effet pas été pris en compte, sans doute pour parvenir à des résultats dans des délais possibles pour un bureau de conseil. En tout cas, c'est ce vers quoi nous aimerions converger dans la modélisation ; mais pour l'instant, pour une telle étude, il faut un modèle global de la ville. Des projets de recherche avaient récemment été tentés, mais on constate qu'il est extrêmement complexe de tout mêler. Dans le projet Aetic, à ma connaissance, les chercheurs essaient déjà d'intégrer aménagement et bâtiment, mais je ne suis pas certain qu'ils aillent jusqu'à intégrer la climatologie et donc, l'impact de l'évolution des températures. Selon moi, cela ne se fera qu'à un horizon de cinq ou dix ans. Le CSTB, notamment, avait essayé de monter un projet, « Ville numérique », dont l'idée était de réunir des spécialistes de la météo, du bâtiment, des transports, pour sortir, par ce travail collectif, un magnifique modèle. Mais pour l'instant, on a du mal à dépasser les approches sectorielles. Ce

projet est un premier pas vers une approche intégrée. Il faut continuer à soutenir la recherche pour espérer à parvenir à ce résultat un jour.

Christian Caye

Nous sommes tous d'accord.

Je voudrais vous poser une autre question, beaucoup plus simple. Vous avez montré, à un moment donné, un échantillon représentatif de comparaisons entre New York, Londres, Tokyo et d'autres villes, sous forme d'araignée. Mais il y a tout de même des pondérations entre ce qu'il y a comme eau sur chacune de ces villes, leur stress hydrique, le comportement, l'extension de la ville et donc, les données en matière de transport, la température moyenne en hiver ou en été. Vous nous montrez des données brutes qui ne sont pas pondérées par rapport à des coefficients un peu communs. Il est normal que New York explose par rapport aux autres territoires.

Nicolas Coulombel

Ils ont essayé tout de même de proposer au moins des mesures intensives par personne. Mais l'objectif était de se situer un peu plus rapidement. Il est certain qu'il y a des formes urbaines différentes. Mes domaines de recherche portent plutôt sur les formes urbaines et le transport. De ce seul point de vue, ce ne sont pas les mêmes configurations de ville et regarder les chiffres à brûle-pourpoint n'est pas forcément très pertinent.

Christian Caye

Cela a une vertu pédagogique, mais ce n'est pas d'une réalité fidèle au terrain.

Nicolas Colombel

En effet. Ce n'est pas extrêmement rigoureux.

Une participante

Lorsque l'on dit : « par personne », est-ce par habitant ou par usager ? Est-ce que l'on ajoute aux habitants les gens qui viennent travailler ?

Nicolas Colombel

Je ne pense pas que ce soit la ville en soi. Ce sont plutôt les métropoles, les aires urbaines. Les délimitations prennent en compte les zones où résident la plupart des gens, au sein de l'aire urbaine. Il y a tout de même quelques échanges avec l'extérieur, mais par rapport au périmètre considéré, c'est plus marginal que si l'on n'observait que Paris ou Londres intra-muros. Pour Londres, en tout cas, c'est le périmètre de la Greater London Authority qu'ils ont étudié et les chiffres sont donnés par habitant de la zone considérée.

Je voudrais souligner également un point qui n'est pas évoqué dans ce que j'ai présenté. Il y a une courbe très intéressante qui permet de classer les projets. Cela n'empêche toutefois pas qu'il y ait des contraintes d'investissement. Un aspect assez développé dans la recherche porte sur la manière dont, après la sélection, on séquence les investissements. Pour cela, on utilise

plutôt de la programmation linéaire et des méthodes d'optimisation, parce qu'il est impossible de tout mettre en place en même temps, faute d'argent. Cela donne une idée, mais cela ne permet pas de donner une priorité aux mesures à instaurer. Ceci suppose une démarche supplémentaire, qui est aujourd'hui assez standard, consistant à s'interroger sur l'objectif : mon objectif est-il de maximiser les réductions d'émissions de CO₂ à telle année sous telle contrainte budgétaire ? Dans ce cas, il y a un modèle qui indique, à partir de la courbe, dans quelle mesure il faut investir telle année, dans quelle autre l'année suivante, etc. Cet élément décrivant comment séquentialiser et comment prioriser n'est pas présenté dans l'étude et c'est dommage. Ils ont choisi de présenter l'approche du coût global de la mise en place de toutes les mesures, mais ce n'est pas forcément très réaliste. Et dans ce cas, il existe des éléments.

Une participante

À propos des transports, nous avons vu les solutions des véhicules hybrides – je ne sais pas où sont les véhicules électriques. D'après ce que j'ai compris, ils sont compris dans certaines hypothèses de coût fixe du baril jusqu'en 2025. Pour un pays où l'électricité est tout de même à forte intensité en carbone, pouvez-vous nous dire la sensibilité de ces résultats par rapport au prix de l'énergie, quel qu'en soit le type, puisque le Laboratoire Ville, Mobilité, Transport s'intéresse aussi aux véhicules électriques ? Et quels sont les résultats dans un pays à plus faible intensité en carbone ?

Nicolas Coulombel

Personnellement, je ne pourrais pas répondre à la question. Ce n'est pas vraiment mon sujet. Ce que j'ai vu dans l'étude n'était pas très explicite et j'ai trouvé, là aussi, que c'était une grande lacune. En annexe, il était indiqué que quelques tests de sensibilité avaient été effectués, qui ne modifiaient pas énormément les résultats. Mais j'ignore s'ils avaient des scénarios extrêmes, notamment sur le prix du baril. Cela rendrait peut-être le véhicule hybride plus intéressant. L'étude ne porte que jusqu'à l'horizon de 2025 ; à un horizon plus lointain, cela pourrait modifier la donne. En outre, si l'on investit dans les technologies du véhicule électrique, son coût va diminuer.

D'autres personnes du laboratoire sont spécialistes en matière de véhicules électriques et s'intéressent à ce genre de questions. Je leur demanderai d'en parler dans le cadre de prochaines réunions.

Mathieu Rivallain, UR Navier - école des Ponts ParisTech

Comment les interactions sont-elles prises en compte ? On a l'impression, sur ces graphiques, qu'il y a des gains qui sont tous indépendants. Sur les bâtiments, par exemple, il y a des gains potentiels sur l'isolation, des gains potentiels sur le chauffage, mais en même temps, les deux ne peuvent atteindre le maximum en permanence. Si l'on a déjà fait des travaux sur le chauffage, on aura moins de gains en isolation et inversement. Est-ce que les potentiels que vous nous avez présentés sont absolus et y a-t-il des interactions qui sont prises en compte ?

Nicolas Coulombel

L'étude est évasive sur ce point, mais il me semble avoir compris qu'a priori, ils séquençaient de la gauche à la droite pour essayer de prendre ces interactions en cause. Mais ce n'était pas extrêmement clair sur les détails techniques.

L'objet de l'exposé était plutôt de présenter la méthode. C'était un projet de recherche mené par McKinsey. Mais en France, le projet Aetic est mené par des laboratoires de recherche et à mon avis, ce genre de démarche sera mieux pris en compte. Si le sujet vous intéresse, je vous incite à suivre les prochains travaux de la chaire et de ce projet de recherche.

Christian Caye

Nous regarderons. C'est plus qu'intéressant. Lorsque l'on a déjà changé la toiture, les fenêtres, les portes, la chaudière, le rendement de la solution numéro 3, 4 ou 5 est plus que décroissant et marginal. C'est aussi cela qu'il faut prendre en considération.

Nicolas Coulombel

En l'occurrence, l'objectif était de dresser une première courbe et non d'avoir les chiffres parfaits. Il s'agissait plutôt de situer un peu les choses, de donner un premier aperçu, de montrer que l'on pouvait appliquer la méthode. Mais si l'on veut vraiment bien prendre en considération les interactions, cela demande certaines hypothèses dans la manière dont on représente. Il faut aussi prendre en compte l'ordre dans lequel on implémente pour les modèles qui font de la programmation sur les interactions et voir comment séquentialiser les choses.

Christian Caye

Merci pour cette intervention, qui m'a appris beaucoup de choses et qui m'a inspiré beaucoup d'autres questions.



Aide à la décision & réhabilitation énergétique des parcs de bâtiments existants



Mathieu RIVALLAIN

Bruno PEUPORTIER

Olivier BAVEREL

28 Septembre 2011

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

1

Optimisation des programmes de réhabilitation pour les parcs de bâtiments

Christian Caye

Le prochain intervenant fait partie des quatre élus parmi les doctorants de la chaire dont les travaux sont présentés par l'intermédiaire d'un petit film. Ces films seront bientôt disponibles sur le site Internet.

Je vais commencer par vous présenter Mathieu Rivallain.

Projection du film

« Bonjour. Je m'appelle Mathieu Rivallain. Je participe à la chaire Vinci dans le cadre de mes travaux de thèse. Cette thèse est réalisée en collaboration entre deux écoles : l'école des Ponts et l'école des Mines de Paris.

Dans le cadre de cette thèse, nous essayons de contribuer à l'aide à la décision pour la définition de programmes de réhabilitation des parcs de bâtiments existants. Plus concrètement, nous voulons mettre en place des méthodes ou des outils qui nous permettent d'identifier des programmes de réhabilitation pour la performance énergétique à l'échelle d'un ou plusieurs bâtiments. Ces programmes mettent en œuvre différentes mesures de

réhabilitation. Certaines touchent à la réduction des besoins d'énergie, d'autres, à l'efficacité des équipements, d'autres encore à la production d'énergies renouvelables, et ces mesures ont une interaction entre elles. Il y a donc une certaine complexité et ce que nous cherchons à faire est précisément de proposer des outils qui identifient des solutions optimales et qui permettent de savoir à la fois quelles sont les mesures à mettre en œuvre et dans quel ordre.

La réhabilitation recouvre plusieurs enjeux, mais celui qui est peut-être le plus marquant est que le parc français de logements comprend à peu près 32 millions de logements, aujourd'hui, et qu'il se renouvelle à un taux annuel inférieur à 1 %. Cela signifie que plus de 60 % des bâtiments de 2050 existent déjà. Si l'on veut prétendre répondre à des objectifs environnementaux comme le facteur 4, soit la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050, c'est une bonne chose de travailler sur le neuf à travers le bâtiment à basse consommation ou à énergie positive, mais il est également impératif d'adresser l'existant par la réhabilitation énergétique.

La chaire apporte trois éléments principaux aux recherches que nous menons. Elle apporte d'abord un soutien et un signal fort pour les laboratoires des écoles partenaires. C'est très important, parce que cela les conforte dans les orientations qu'elles ont pu prendre sur l'éco-conception. Deuxièmement, grâce à la chaire, nous sommes en coopération avec différentes écoles, et nous apprenons beaucoup de laboratoires différents. Personnellement, j'ai beaucoup appris sur la biodiversité, sujet que je connaissais très peu. Enfin, sur un plan plus personnel, pouvoir échanger avec des opérationnels de Vinci est très enrichissant. En effet, dans le cadre de travaux de thèse, en particulier, on a souvent tendance à s'enfermer dans des approches un peu théoriques ou des modélisations de la réalité.

De manière évidente, les bailleurs sociaux, que l'on connaît sous forme d'offices HLM, par exemple, sont déjà intéressés par des problématiques de ce type. Et ils ne sont pas les seuls. Un certain nombre de maîtres d'œuvre, de maîtres d'ouvrage, voire de bureaux d'études qui s'occupent aussi de questions de réhabilitation énergétique pourraient être intéressés par ces outils. Et l'on peut même imaginer que lors la définition de politiques publiques, on puisse avoir recours à ce type d'approche pour réfléchir à leur mise en œuvre. L'État, de la même manière qu'un bailleur social, a un parc à gérer, qui est beaucoup plus conséquent, et lorsqu'il s'interroge sur les politiques publiques à initier, il doit choisir quelles mesures de réhabilitation il va devoir favoriser par des incitations ou par de la réglementation, et dans quel ordre il faut les favoriser. Nos outils pourraient contribuer aux réflexions sur ces sujets.

À l'échelle du bâtiment, Vinci a déjà des opérations dans le domaine de la réhabilitation ; elles ne sont pas forcément à visée énergétique, mais ce sont des réhabilitations. Or, nous savons que la réglementation va évoluer, y compris sur l'existant ; on connaît les enjeux du développement durable. Il serait donc aussi important pour Vinci de pouvoir proposer des programmes de réhabilitation sur ces bâtiments qui ne soient pas trop loin de solutions optimales. »

Christian Caye

Je vous présente Mathieu Rivallain en chair et en os. Je tiens à féliciter la petite équipe qui a réalisé cette série de quatre films. Ceux d'entre vous qui reviendront auront droit, à chaque séance, à cette séquence publicitaire. C'est encore mieux quand ce sont les chercheurs qui la font. Donc, bravo.

Mathieu Rivallain, nous vous attendons sur autre chose...

Mathieu Rivallain, UR Navier - école des Ponts ParisTech

C'était ce qui était prévu. Excusez-moi pour la dernière question posée à l'intervenant précédent, mais le séquençage de ces mesures et les interactions qu'elles peuvent avoir entre elles sont des sujets qui m'intéressent et qui ne sont pas si évidents qu'il n'y paraît.

Au-delà de cela, nous n'allons pas vous présenter uniquement du neuf. Je passerai plus rapidement sur le contexte, puisque vous le connaissez clairement, à présent. J'ai prévu de vous parler brièvement d'aide à la décision en vous donnant quelques idées sur ces problématiques et de vous exposer les approches d'optimisation que nous menons sur la définition des programmes de réhabilitation pour un ou plusieurs bâtiments.

1. Contexte
2. Multicritère & aide à la décision, introduction
3. Un problème complexe
4. Approches d'optimisation
5. Conclusion & perspectives

Agenda

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

2

S'agissant du contexte, la réhabilitation est un enjeu très important pour les raisons que j'évoquais.

1. La réhabilitation de l'existant, une priorité du développement durable

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

3

Je voudrais attirer votre attention sur le fait que même en réhabilitation, il est possible d'atteindre la haute performance énergétique.

La réhabilitation à haute performance énergétique existe !

„Das Nürnberger 3-Liter-Haus“, Jean-Paul-Platz 4



Source : www.housinginnovativ.de

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

5

Un certain nombre d'opérations exemplaires ont déjà été menées, particulièrement en Allemagne, en Autriche et en Suisse, et l'on constate que l'on atteint des facteurs de réduction des besoins énergétiques tout à fait considérables : un facteur 10, donc une division par 10 du

besoin de chaleur pour le chauffage, entre avant et après la réhabilitation, et à des coûts qui, finalement, sont relativement maîtrisés : environ 500 € / m² habitable. Mais ces programmes font intervenir de nombreuses mesures de réhabilitation qui, à la fois, réduisent à la fois, travaillent sur l'efficacité des équipements et également, sur l'intégration de mesures avec production d'énergie renouvelable.

Contexte général

- Une priorité du développement durable : "l'industrie des 40%"
- FRANCE : consommations d'énergie primaire pour le chauffage

■ Moyenne du parc existant	240 kWh _{EP} /m ² .an	31.6 millions de logts.
■ Moyenne du parc 1949-74	350 kWh _{EP} /m ² .an	21.0 millions de logts.
- FRANCE : renforcement des politiques publiques

- Émergence de réglementations plus contraignantes
 - RT2012 : bâtiments résidentiels et non résidentiels ;
Référentiel BBC : 50 kWh_{EP}/m².year (sur 5 usages)
 - 2020 : Norme THP (Très Haute Performance énergétique) = BPos
 - Parc existant : principalement mesure incitatives
(CIDD + éco-prêt à taux zéro)
- Taux de renouvellement du parc existant : <1%.an⁻¹

... sur le NEUF !



28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

4

Travailler à l'échelle du bâtiment est une bonne chose, mais cela ne répond pas complètement à l'enjeu. Quand on considère une politique comme le facteur 4, il faut aussi se demander ce que deviennent ces performances à l'échelle d'un parc, c'est-à-dire quels bâtiments adresser, concrètement. [...]

Et à l'échelle du parc...



Il y a aussi des perspectives d'imposer ou de tendre vers une consommation moyenne d'énergie, pour les bâtiments existants, de 150 kWh par mètre carré et par an en 2020. Mais qu'est-ce que cela signifie ? Quels bâtiments traiter ? Comment ? Si l'on traite tous les bâtiments de la même façon, ne risque-t-on pas de tuer le gisement, c'est-à-dire, après s'être saisi des mesures les plus simples à mettre en œuvre, de rencontrer beaucoup de difficultés à financer celles qui suivent ? Nous nous posons ces questions à l'échelle du cycle de vie et à l'échelle systémique des bâtiments.

Nous sommes véritablement dans un cadre d'aide à la décision, parce que nous nous proposons d'aider un décideur à identifier des programmes de réhabilitation particulièrement pertinents, qui ciblent à la fois des mesures de réhabilitation précises et qui nous donnent aussi, en quelque sorte, une séquence sur laquelle il faut se baser. Dans ce mécanisme d'aide à la décision, nous nous posons juste comme analystes. Nous ne prenons pas la décision à la place du décideur, mais nous lui proposons un ensemble de solutions que nous jugeons particulièrement intéressantes.

Nous sommes clairement dans un contexte multicritères. Dans le cadre des travaux de thèse, nous visons des objectifs à la fois environnementaux, comme les indicateurs de l'analyse des cycles de vie, mais aussi économiques, comme le coût global ou le coût d'investissement sur le cycle de vie de l'ouvrage ou du parc, et nous essayons même de tendre vers la sphère sociétale, en considérant des aspects comme le confort thermique, le confort à l'intérieur des bâtiments, particulièrement en été.

Un résultat multicritères, c'est parfois difficile à juger, parce qu'il y a des solutions qui sont parfois meilleures sur certains critères et moins bonnes sur d'autres, et on a du mal à avancer. Face à cela, la littérature donne principalement deux approches, particulièrement dans le contexte de l'optimisation.

Il y a les approches que l'on appelle « préférentielles » : on va voir le décideur et on lui demande d'exprimer sa préférence en amont de la résolution du problème. En général, cela nous sert à transformer un problème multicritères en un problème monocritère, sur lequel on sait avancer beaucoup plus facilement. La pondération est typiquement une méthode avec une expression des préférences en amont.

D'autres méthodes font intervenir l'information préférentielle en aval. On propose un certain nombre de solutions potentielles au décideur et c'est en étudiant ces solutions qu'il réfléchit à celles qu'il veut privilégier ou non.

2 approches principales face au multicritère

- Information préférentielle amont
- Information préférentielle aval

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

11

À cet égard, je voudrais indiquer deux choses : les méthodes avec information préférentielle en amont comme la pondération présentent aussi des risques. Un exemple auquel les doctorants sont souvent confrontés est celui du choix d'un appartement. On choisit souvent un appartement en fonction de son loyer, de son coût et du temps de transport. Si l'on habite dans le bâtiment B0, où l'on a un coût maximum et une distance maximale par rapport à d'autres possibilités, on commence les recherches et l'on identifie plusieurs solutions potentielles : B1, B2, B3 et B4.

On constate que toutes nous permettent à la fois de réduire le loyer et notre temps de transport, mais pas toutes dans la même mesure. Je peux être intéressé par une solution qui, à mon avis, génère un bon compromis, qui est la solution B4, où j'ai réduit mon loyer et mon temps de transport. Mais si l'on passe par la pondération, je demande simplement au décideur, à l'avance, quelles sont ses préférences. Comme j'ai envie de tendre vers le compromis, je lui dis 50 / 50 ; dès lors, on peut effectuer des calculs et on se rend compte qu'en choisissant 50 / 50, ce n'est pas la solution B4 qui va sortir, mais la solution B1. Donc, en pondérant les objectifs à 50 / 50, on finit par trouver un appartement qui, certes, coûte beaucoup moins cher, mais qui est encore relativement loin de son logement. Il est assez intéressant de voir que si l'on fait varier les poids, on va passer de la solution B1 à la solution B3, mais on n'atteindra jamais la solution B4. C'est donc un peu contre-intuitif, mais en pondérant et en demandant de la préférence au départ, on se prive finalement de certaines solutions. Dans de tels cas, suivant la nature du problème, on peut ne pas avoir accès à certaines solutions mathématiques. En outre, on observe que le changement de B1 à B3, qui sont pourtant des solutions très différentes, se fait autour d'une seule valeur. Si le premier poids passe de 51 % à 53 %, on change de solution. Or, pour un décideur, ce passage de 51 à 53 % n'a quasiment aucun sens. Je vous indique cela pour vous alerter sur les limites d'approches telles que la pondération.

Les limitations de la pondération

Exemple fictif

- Choix d'un appartement à louer

Résultats normalisés sur 2 indicateurs,
normalisation en fonction du bâtiment B0



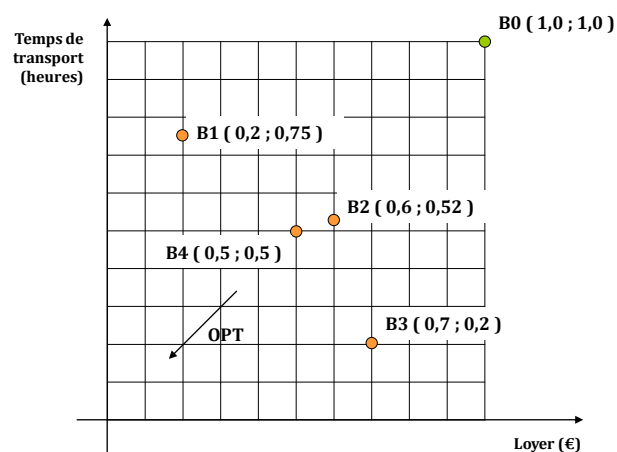
	B0	B1	B2	B3	B4
Coût	1,00	0,20	0,60	0,70	0,50
Distance au bureau	1,00	0,75	0,52	0,20	0,50

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

12

Représentation graphique des solutions

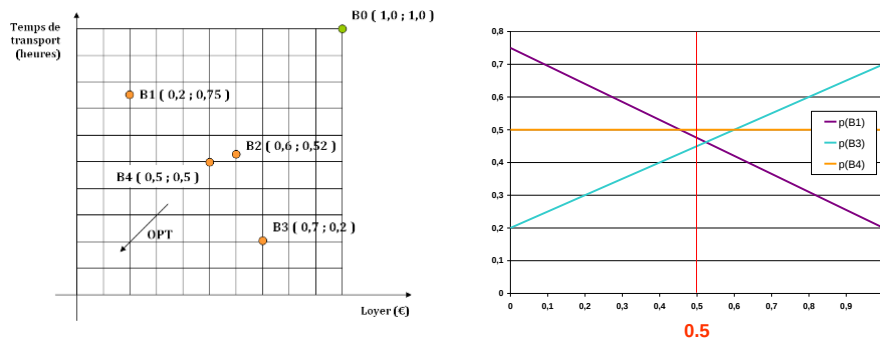


28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

13

Quelle(s) solution(s) en pondération?



$$\begin{array}{ll}
 B_1 \ 0,2;0,9 & p \ B_1 = 0,5 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 0,75 = 0,475 \\
 B_3 \ 0,7;0,2 & p \ B_3 = 0,5 \cdot 0,7 + 0,5 \cdot 0,20 = 0,450 \\
 B_4 \ 0,5;0,5 & p \ B_4 = 0,5 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,50 = 0,500
 \end{array}$$

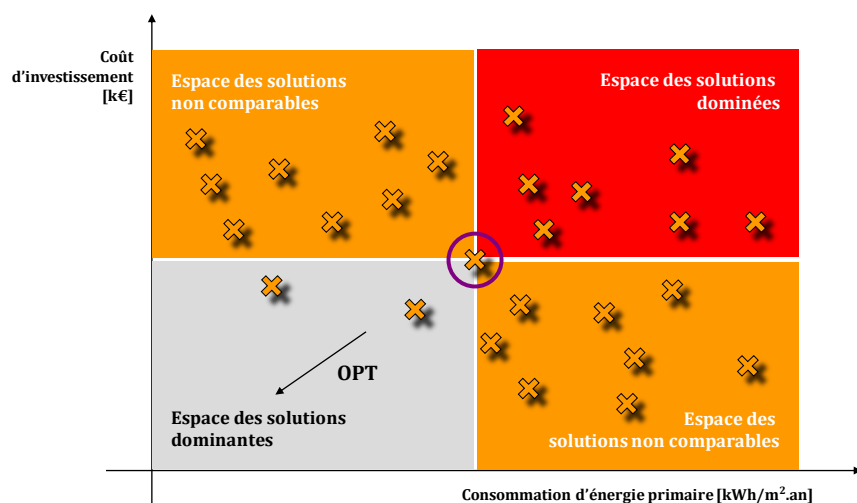
28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

14

Comment proposons-nous de gérer cette difficulté ? Nous assumons le caractère multicritères. On examine des solutions en considérant leurs performances sur différents indicateurs en même temps. Mais dès lors, comment peut-on juger de la qualité d'une solution par rapport à une autre ? Nous n'utilisons plus l'inégalité, comme en monocritère, mais une relation que l'on appelle la relation de dominance.

Introduction à la relation de dominance



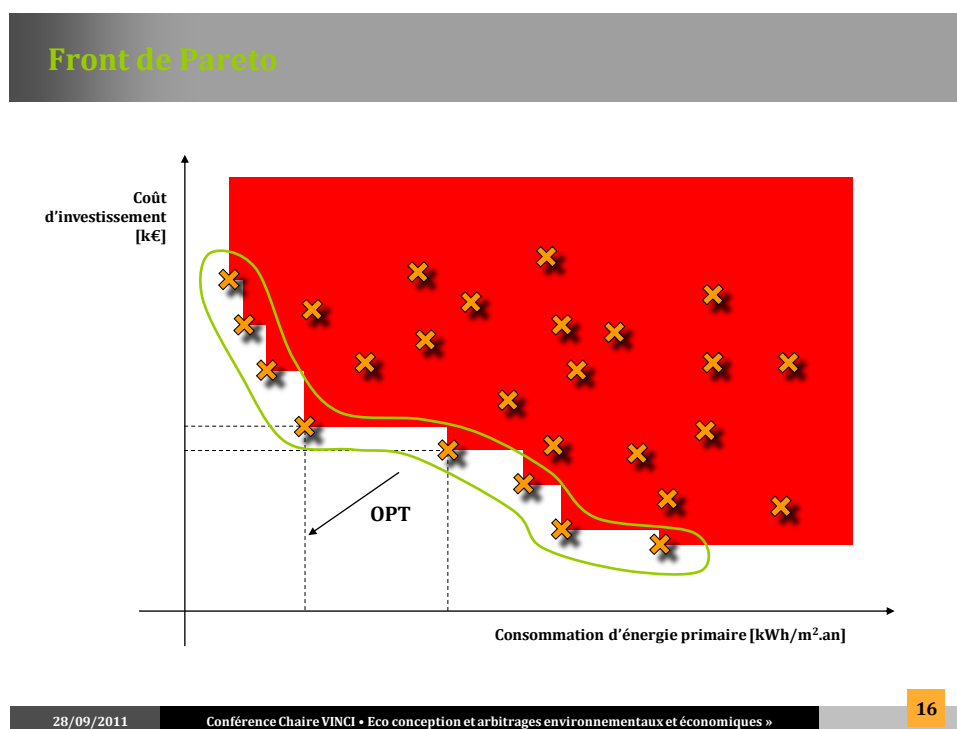
28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

15

Dans notre problème, trouver une solution optimale, c'est réduire la consommation d'énergie et réduire le coût d'investissement.

En considérant une solution particulière, on comprend bien qu'elle est clairement meilleure que certaines autres sur tous les critères, ou qu'elle est moins bonne que d'autres sur tous les critères, et qu'il y a un certain nombre de solutions qui sont dites non comparables. C'est à partir de cela que nous allons va fonder notre approche multicritères du problème. Et ce qui va nous intéresser, pour la réhabilitation des bâtiments et des parcs de bâtiments, c'est de trouver des programmes qui soient justement non dominés, c'est-à-dire qu'aucune solution ne soit meilleure sur tous les critères. C'est ce que l'on appelle des fronts de Pareto.



Pour un décideur, c'est là que réside la force de l'information préférentielle en aval : cette information est très riche. Dans ce cas, le décideur peut voir qu'en investissant un tout petit peu, il peut considérablement améliorer sa performance énergétique et sa performance environnementale. À partir de cette information, il a donc forcément une richesse bien plus importante.

3. Un problème complexe

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

17

Je reviens sur la définition des programmes de réhabilitation. C'est un problème complexe, parce que beaucoup de mesures de réhabilitation sont potentiellement envisageables. Elles peuvent porter sur l'isolation de l'enveloppe, le remplacement des ouvertures, la ventilation, le chauffage, la production d'énergie renouvelable. Ce sont des mesures discrètes et notre problème est qu'il faut trouver la combinaison de toutes ces mesures.

Mesures de réhabilitation potentielles

- Isolation thermique de l'enveloppe opaque : toit, façades, plancher bas
- Remplacement des vitrages : isolation et contrôle des gains solaires
- Surfaces de vitrages (orientation du bâtiment)
- Étanchéité à l'air
- Traitement des ponts thermiques
- Ventilation
- Chauffage
- Production eau chaude sanitaire
- Intégration des renouvelables

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

18

De plus, il y a des interactions. Nous avons déjà évoqué l'interaction entre l'isolation et le chauffage. On peut tenter, à court terme, de changer le système de chauffage et de le remplacer par un chauffage à très haut rendement, mais si plus tard, le besoin de chaleur évolue et diminue considérablement, le rendement de l'équipement va, lui aussi, être modifié.

Interactions entre les mesures de réhabilitation

Quelques exemples

- Surdimensionnement des équipements (chauffage)
- Remplacement des menuiseries, isolation thermique et étanchéité de l'enveloppe et ventilation
- Réduction des pertes et valorisation des gains solaires et internes

Heating energy needs (static thermal simulation model)

$$Q_{NH} = Q_{L,H} - \eta_{G,H} \cdot Q_{G,H}$$

$$\eta_{G,H} = \begin{cases} \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} & \text{si } \gamma \neq 1 \\ a / (a + 1) & \text{si } \gamma = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} a = 0.8 + \tau / 30 \\ \gamma = Q_{G,H} / Q_{L,H} \\ \tau = CTU_{Total} / H_{Total,H} \end{cases}$$

NF EN ISO 13790

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

19

Plutôt que de vous faire un développement théorique, je vais vous illustrer quelques approches d'optimisation par des exemples et vous allez comprendre très rapidement de quoi il s'agit.

4. Approches d'optimisation

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

20

Le premier bâtiment auquel nous allons nous intéresser est cette barre, que nous avons appelée « barre Grimaud », que nous avons rencontrée dans un projet de la Fédération Bâtiment Énergie.

Approche algorithmique génétique : Barre Grimaud



Barre Grimaud

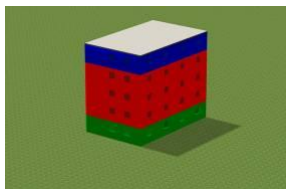
- Type : barre R+4
- Nombre de logements : 10
- SHAB : 792 m²
- Construction : avant 1974

Modes constructifs ETAT INITIAL

- Murs extérieurs : blocs béton pleins
- Plancher bas : dalle béton 200mm, sur caves
- Toiture : terrasse, dalle béton
- Menuiseries : PVC double vitrage
- Ventilation : VMC classique non modulée
- Chaudière : collective gaz installée avant 1988
- ECS : chauffe-bain gaz individuels

Besoin de chaleur ETAT INITIAL :

190 kWh/m².an



28/09/2011

Conférence Chaire VINCI « Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

21

Ce bâtiment date d'avant 1974 et avant réhabilitation, avait un besoin de chaleur d'environ 190 kWh par m² et par an.

Sur ce bâtiment, on peut se proposer d'implémenter différentes mesures de réhabilitation. On peut travailler sur l'isolation thermique par l'extérieur, par les façades, les planchers, le remplacement des vitrages – on peut même éventuellement modifier la dimension de certaines ouvertures pour faire entrer plus de lumière –, sur les types de ventilation, le chauffage, la couverture solaire. Voilà avec quoi nous allons fabriquer nos programmes. Ensuite, on constitue des séquences sur la base de ces mesures et on les évalue sur différentes fonctions et objectifs. Dans cet exemple, nous en prenons quatre : la consommation d'énergie primaire sur le cycle de vie – en l'occurrence, nous avons une durée de vie de cinquante ans –, le coût global, le coût d'investissement et le confort thermique.

Etude de cas : barre Grimaud

Mesures de réhabilitation considérées

▪ Epaisseur ITE laine de verre FACADE N/E/S/O :	[10, 15, 20, 25] cm
▪ Epaisseur ITE Polystyrene extrudé PLANCHER BAS :	[10, 15, 20, 25] cm
▪ Epaisseur ITE Polystyrene extrudé PLANCHER HAUT :	[10, 15, 20, 25, 30] cm
▪ Remplacement menuiseries N/E/S/O :	[BBC DV ; Passif triple]
▪ Ratio de surface de vitrage / façade N :	[0.5, 0.8, 1, 1.5]
▪ Ratio de surface de vitrage / façade E/S/O :	[0.8, 1, 1.25, 1.5]
▪ Type de ventilation :	[hygro-B ; Double flux]
▪ Type de chauffage :	chaudière gaz basse condens.
▪ Ratio de couverture solaire ECS :	[36 ; 54; 72] %

Fonctions objectifs

- Consommation énergie primaire sur CDV
- Cout global et cout d'investissement sur CDV
- Confort thermique

RQ : Cycle de vie sur 50 ans

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

23

Nous prenons ce problème en charge par de l'optimisation génétique. Vous ne savez pas forcément ce que c'est, mais la métaphore avec la sélection naturelle et la génétique est tout à fait directe. En génétique, on a des individus. En optimisation génétique, on a aussi des individus, qui sont des solutions.

Approche algorithme génétique : représentation des solutions

- 1 solution = 1 individu = 1 programme de réhabilitation
- Chaque individu est représenté par 1 chromosome :

Brin COMPOSITION

Épaisseur d'isolation sur façade NORD
...
Menuiserie sur façade NORD
Dimension ouvertures NORD
...
Équipement de ventilation
Équipement de chauffage
Couverture solaire de la production ECS



Brin ORDRE

Phase : Isolation sur façade NORD
...
Phase : Menuiserie sur façade NORD
Phase : Dimension ouvertures NORD
...
Phase : Équipement de ventilation
Phase : Équipement de chauffage
Phase : Couverture solaire ECS

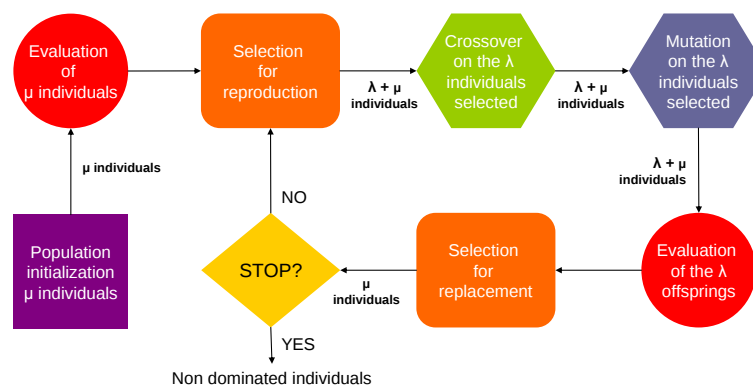
28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

24

Pour nous, une solution est un programme de réhabilitation. Ces solutions sont représentées par des chromosomes. Notre chromosome va contenir toute l'information sur la solution. On représente le programme de réhabilitation, c'est-à-dire l'individu, par deux brins : un brin « composition », qui va coder l'épaisseur d'isolation sur les différents éléments de façade, l'équipement de ventilation, etc., et un brin « ordre », qui va coder la séquence sur laquelle nous allons travailler. Par analogie complète avec la sélection naturelle, nous initialisons d'abord une population d'individus, donc un groupe de programmes de réhabilitation, que nous allons évaluer. Nous gardons les meilleurs, et ils vont devenir des parents. Ces parents, nous les faisons se reproduire. Nous faisons donc des croisements et des mutations sur le matériel génétique qu'ils portent. Ils génèrent des enfants, que nous évaluons. Nous gardons les meilleurs pour constituer la population suivante, et ainsi de suite sur un certain nombre de générations jusqu'à ce que finalement, nous améliorions nos solutions. Vous avez compris le principe ; il est relativement simple et on peut tout à fait l'appliquer aux bâtiments.

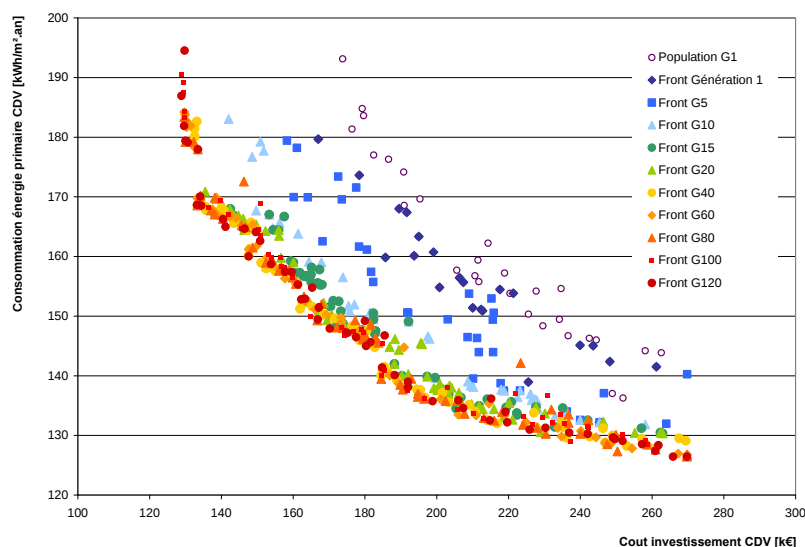
Algorithme génétique : schéma



Nous avons un premier résultat. Les différentes couleurs représentent les fronts de Pareto, c'est-à-dire les ensembles non dominés de solutions, pour différentes générations. Notre première génération a des performances assez médiocres et progressivement, nous améliorons les performances, au fil des générations, pour venir nous caler sur un front de Pareto en génération 120.

Étude de cas barre Grimaud : résultats

Compromis cout d'investissement / consommation énergétique



28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

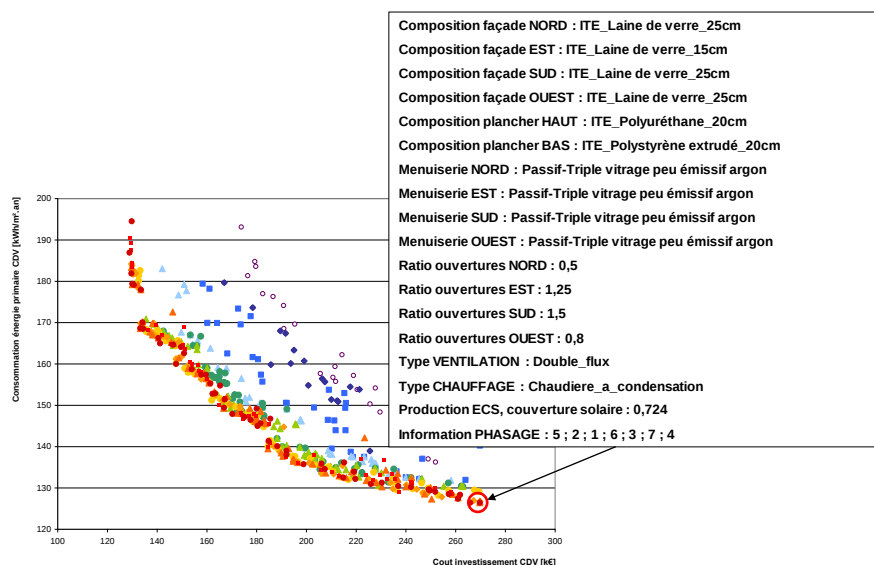
26

La première conclusion importante est qu'il y a bien un compromis entre le coût d'investissement et la consommation énergétique. Mais nous apportons ici une information assez riche au décideur, parce que s'il investit beaucoup, il va atteindre une performance intéressante, certes, mais en même temps, il y a toute une gamme de programmes auxquels on peut s'intéresser, qui vont dégrader faiblement les performances et pourtant, représenter des investissements plus faibles.

On peut aussi s'intéresser à quelques solutions : celle qui coûte le plus cher mais qui a la plus haute performance, sans surprise, met en œuvre des épaisseurs d'isolation importantes, du triple vitrage, des chaudières à condensation – c'était notre option pour le chauffage –, une couverture solaire importante de la production d'eau chaude sanitaire.

Étude de cas barre Grimaud : résultats

Compromis cout d'investissement / consommation énergétique



28/09/2011

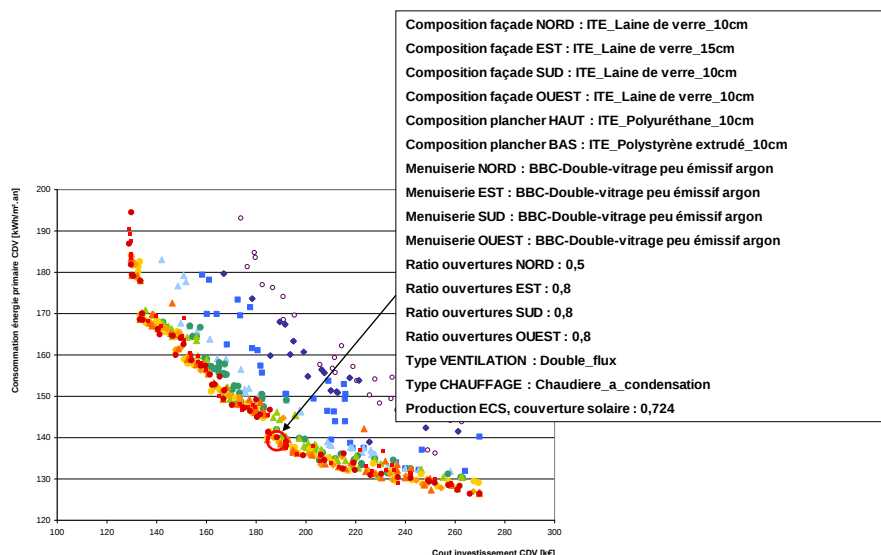
Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

27

Du point de vue du phasage, on commence par travailler sur l'eau chaude sanitaire, puis sur le remplacement du système de chauffage, puis sur les épaisseurs d'isolant des façades et enfin, sur les ouvertures. On peut donc analyser différentes solutions.

Étude de cas barre Grimaud : résultats

Compromis cout d'investissement / consommation énergétique



28/09/2011

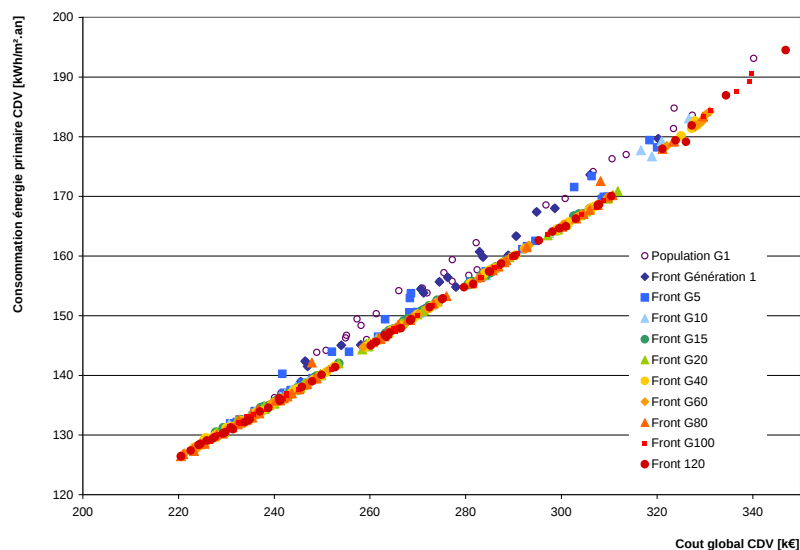
Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

28

Le deuxième graphique représente les solutions sur deux axes : le coût global et la consommation d'énergie, dont on voit qu'ils sont extrêmement corrélés. Cela signifie que bien qu'il y ait des investissements à faire pour de la réhabilitation énergétique, plus on a atteint une performance élevée, plus le coût global diminue sur cinquante ans.

Étude de cas barre Grimaud : résultats

La réhabilitation à haute performance paie à long terme !



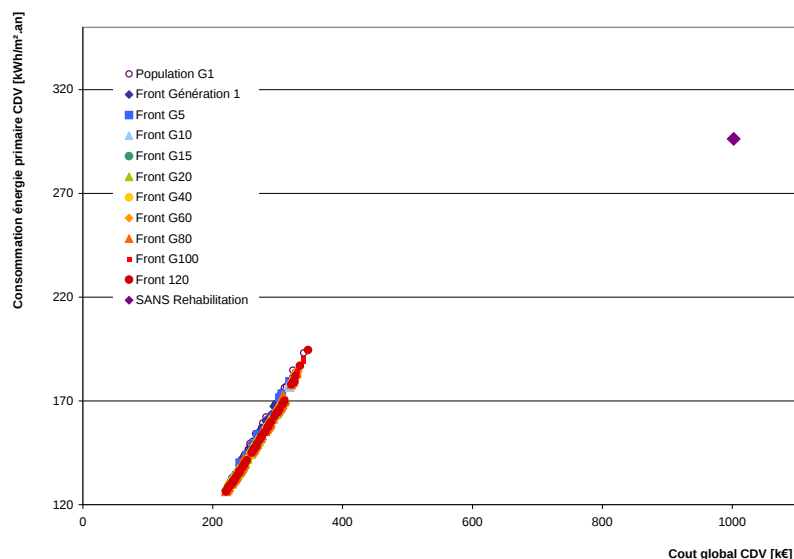
28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

29

Il est intéressant de mettre cela en perspective avec un scénario dans lequel on n'aurait rien fait. C'est le point violet que vous voyez ici.

Étude de cas barre Grimaud : résultats
Face au scénario de l'inaction...



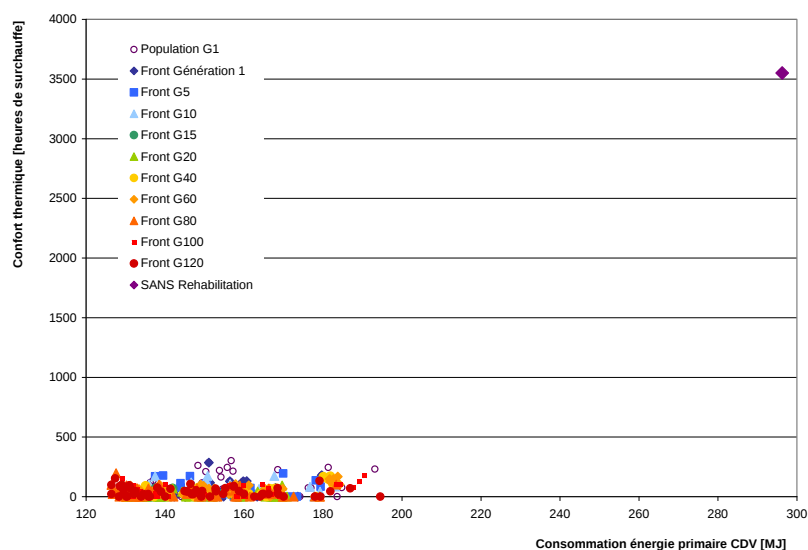
28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

30

C'est un scénario un peu fictif dans lequel, sur cinquante ans, on suppose qu'il n'y a pas de maintenance, que l'on ne fait rien, qu'on laisse le bâtiment continuer à évoluer et que l'on consomme toujours la même énergie. On constate que toutes nos solutions ont réduit considérablement le coût global du cycle de vie de ce bâtiment, qui, bien sûr, présente une performance énergétique supérieure. On peut aussi se rassurer en regardant l'aspect du confort thermique.

Étude de cas barre Grimaud : résultats
A confort thermique garanti



28/09/2011

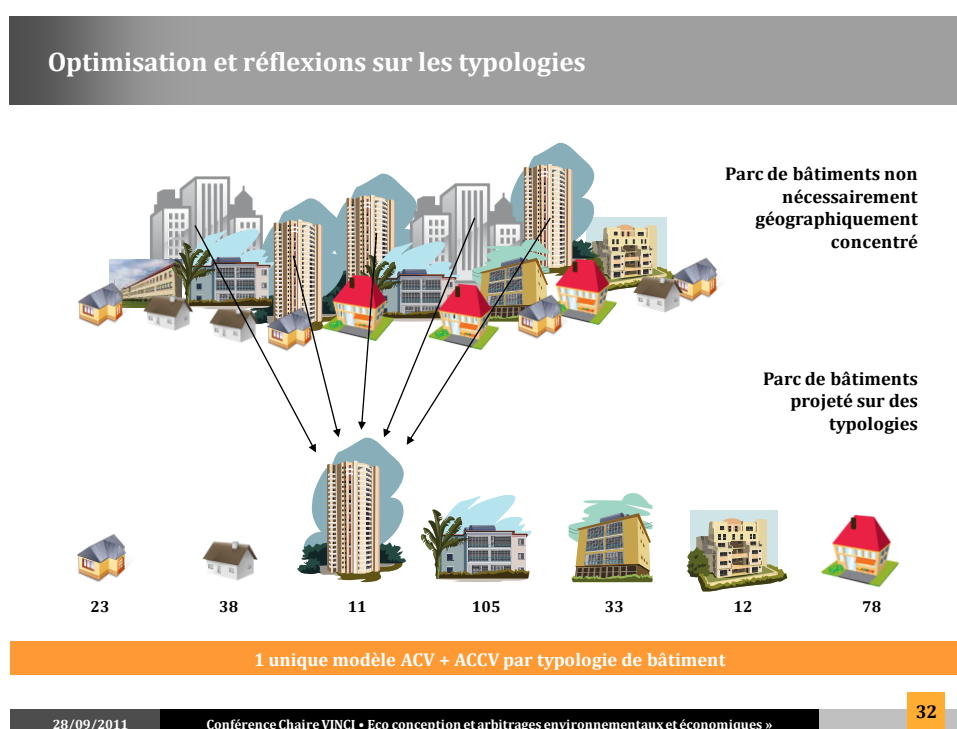
Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

31

En allant vers la droite, la performance augmente et, par rapport à notre solution de départ, à savoir que l'on n'aurait rien fait sur cinquante ans, non seulement on a amélioré le confort thermique, mais, si l'on prend en compte les ordres de grandeur, on voit alors que malgré l'isolation, en mettant en œuvre des scénarios d'occupation adaptés, on ne dégrade absolument pas le confort thermique.

Par ces approches génétiques, on peut donc mettre en évidence un certain nombre de très bonnes solutions multicritères en termes de programmes de réhabilitation. L'exemple que je vous ai présenté est à l'échelle du bâtiment mais peut tout à fait être étendu à l'échelle du parc.

À l'échelle du parc, d'autres questions se posent aussi. On n'a pas envie de considérer chaque bâtiment indépendamment ; on a envie de les regrouper en certaines formes de typologie pour n'avoir finalement que quelques types à traiter et ne travailler que sur ces types-là.

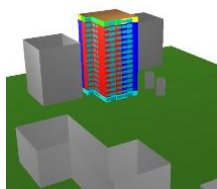


Mais dès lors, d'autres questions se posent : quels sont les types ? Aujourd'hui, la plupart des typologies sont typiquement descriptives et on y relève d'importantes fluctuations. Les outils d'optimisation permettent aussi de réfléchir aux typologies. Si l'on prend un bâtiment, on est capable de voir à quoi ressemblent les solutions optimales en termes de réhabilitation pour ce bâtiment-là.

Si on considère un autre bâtiment, on voit aussi à quoi ressemblent les solutions optimales pour celui-ci. Les différences peuvent nous inspirer le fait qu'il s'agit de la même typologie ou pas du tout. Mais on ne peut pas le faire par algorithme génétique, parce que cette méthode est une méthode approchée. Les solutions que l'on obtient ne sont donc pas des solutions exactes et globales et on n'a aucune certitude que l'on est à l'optimum global. Si l'on continuait à faire tourner l'algorithme sur davantage de générations, il est possible que les solutions continuent à s'améliorer.

Nous développons donc une autre approche, qui, elle, est une approche d'optimisation exacte, que nous avons mise en œuvre sur un cas d'étude, à savoir cette tour d'habitation, dont la consommation d'énergie est relativement élevée : 979 kWh sur le chauffage, l'eau chaude sanitaire et la climatisation.

Approche programmation dynamique : les Renardières



La Renardière (UG351 Bat13)

■ Tour R+15		
■ Nombre de logements	79	
■ SHAB :	4626	m2
■ SHON :	5319,9	m2
■ Hauteur bâtiment :	37,5	m
■ Construction :	avant 1974	

Modes constructifs (état initial)

- Murs extérieurs : béton banché 200mm + 50mm laine de roche
- Plancher bas : dalle béton 200mm, sur vide sanitaire
- Toiture : terrasse, dalle béton 200mm
- Menuiseries : PVC double vitrage
- Chaudière : collective gaz installé après 2000
- Ventilation : VMC classique modulée

Conso 3 usages (chauffage + ECS + refroidissement) :
175 kWh_{EF}/m²_{SHAB}.an



28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

33

Étude de cas : Tour les Renardières

Mesures de réhabilitation considérées

- Isolation thermique de l'enveloppe :
 - Façades ITE150mm
 - Toiture ITE 200mm
 - Plancher bas ITE 150mm
- Menuiseries :
 - Double vitrage (DV) basse émissivité argon, cadre bois
- Système de ventilation :
 - Double flux
 - ou hygro B
- Production d'eau chaude sanitaire :
 - Couverture solaire 50%, circuit avec boucle
- Système de chauffage :
 - Chaudière gaz à condensation
 - Chaudière fuel à condensation
 - Pompe à chaleur (PAC)
 - Chaudière bois
 - Réseau de chauffage urbain (RCU)

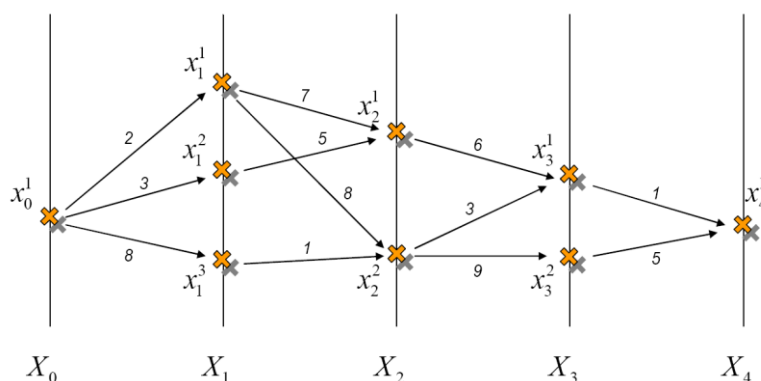
28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

34

Cette méthode d'optimisation exacte s'appelle la programmation dynamique. L'idée principale à en retenir est que c'est une recherche du plus court chemin. On pourrait parfaitement comparer la programmation dynamique à la recherche d'un plus court chemin géographique. Pour aller de la ville x_0 à la ville x_4 , différents chemins sont possibles, comme pour réhabiliter un bâtiment : pour aller d'un état initial jusqu'à un état réhabilité à haute performance, il y a différents chemins possibles. Le principe de la programmation dynamique est de dire que le chemin global optimal ne peut être constitué que de sous-chemins partiels optimaux. En d'autres termes, le chemin global de la ville x_0 à la ville x_4 passe nécessairement par le chemin partiel qui va soit de x_0 à $x_{2.1}$, soit de x_0 à $x_{2.2}$. On utilise ce principe pour construire une méthode d'optimisation.

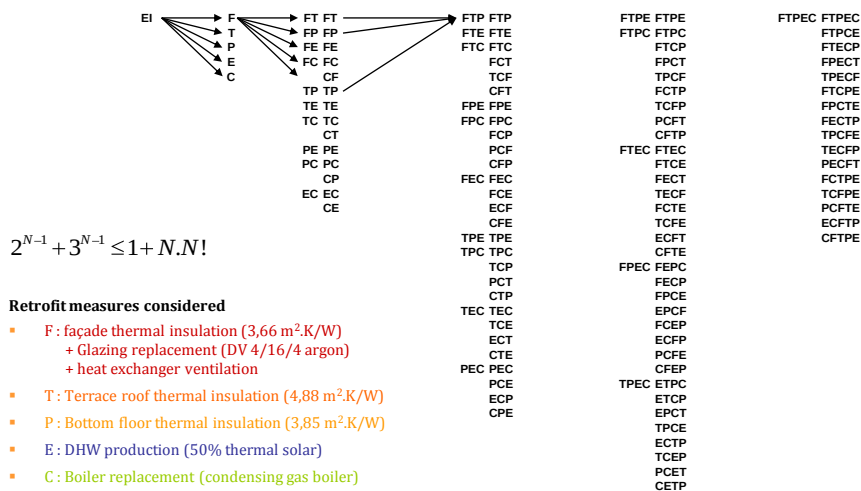
Graphes séquentiel & recherche de plus court chemin



$$OPT(v(-, x_n^r)) = OPT_{x_{n-1}^s \in X_{n-1}(-, x_n^r)} [OPT(v(-, x_{n-1}^s)) + v(x_{n-1}^s, x_n^r)]$$

Dans ce cadre aussi, on peut travailler sur différentes mesures : la réduction des pertes par l'enveloppe, à travers l'isolation, le vitrage et la ventilation ; l'isolation des planchers ; l'eau chaude sanitaire et le chauffage. Nos villes, en quelque sorte, sont les différentes combinaisons de mesures que nous avons aux états intermédiaires. On observe que sur ce bâtiment, la stratégie optimale, celle qui, sur les différentes phases de réhabilitation, conduit le plus rapidement à faire baisser les consommations énergétiques, consiste à travailler d'abord sur la façade et les vitrages, puis sur le chauffage, puis sur l'eau chaude sanitaire et enfin, sur le plancher, en commençant par le plancher haut et en terminant par le plancher bas.

Graphe séquentiel, réhabilitation Renardières

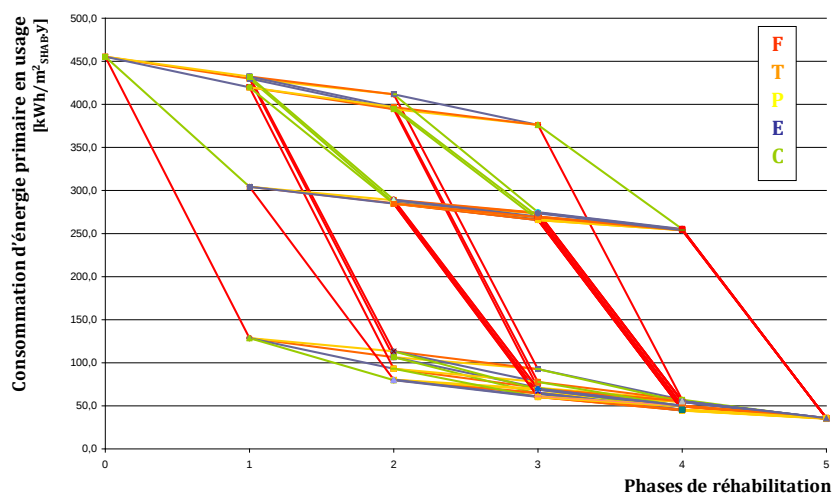


28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

36

Étude de cas Renardières : résultats



28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

37

Ce sont les exemples que je voulais vous présenter aujourd'hui.

5. Conclusion & perspectives

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

38

Conclusions et perspectives

Bilan

- Les travaux sont en cours, des développements sont encore nécessaires.
- Les approches et outils développés représentent une contribution à l'aide à la décision dans la perspective de la réhabilitation énergétique séquentielle d'un ou plusieurs bâtiments. Ils ne remplacent pas le décideurs mais fournissent un ensemble de solutions non dominées, sur une base multicritère.
- L'introduction de l'optimisation exacte permet d'esquisser une réflexion sur la définition des typologies de bâtiments, en rapport avec la réhabilitation séquentielle.

Perspectives

- Quel rôle et quelle place pour ces méthodes et outils dans la conception?
- La réhabilitation technique est-elle une réhabilitation durable?

28/09/2011

Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques »

39

Pour faire un bilan, à ce stade, vous avez pu constater que les travaux étaient en cours. Un certain nombre de développements sont encore nécessaires. Les approches et les outils permettent d'ores et déjà de contribuer à l'aide à la décision sur ces problématiques, de réfléchir à la fois à la composition des programmes de réhabilitation, mais aussi aux aspects de phasage entre les mesures de réhabilitation, sur une base multicritères. Par ailleurs, la programmation exacte nous permettra aussi de réfléchir à la définition des typologies de bâtiments, particulièrement en lien avec la réhabilitation.

Un certain nombre de questions restent aussi à discuter, et feront peut-être l'objet de nos échanges.

Tout d'abord, quel est le rôle de ces méthodes dans la conception ? C'est une aide à la conception, une aide à la décision, mais ce n'est pas pour autant une décision. À mon sens, c'est très utile dans des phases très en amont des projets. Il s'agit de conception systémique et l'on sent qu'il y a besoin de plus en plus d'acteurs pour définir ce que devraient être des configurations optimales ; mais pour se parler, ces acteurs très différents ont besoin de le faire sur une base. Ces outils pourraient servir de base.

Par ailleurs, la réhabilitation technique est-elle une réhabilitation durable ?

Ouverture : uniquement une problématique technique?

28/09/2011 Conférence Chaire VINCI • Eco conception et arbitrages environnementaux et économiques » 40

Les mesures de réhabilitation que nous avons aujourd'hui considérées portaient principalement sur la consommation énergétique, mais il faut aussi prendre en compte le fait que comme pour la tour Bois-Le-Prêtre, qui se situe porte Pouchet, à Paris, il n'y a pas uniquement des aspects techniques à prendre en compte. Cette tour a été construite vers les années soixante. Elle a été complètement remise aux normes en 1990, dans le cadre d'une opération de réhabilitation relativement importante. Et, en 2005, un nouveau projet de réhabilitation a été lancé, parce que la solution technique proposée en 1990 ne convenait plus aux modes de vie et aux usages de ses occupants. C'est aussi un quartier où le contexte social est assez difficile ; il est donc également nécessaire de lui redonner de l'attractivité, ce qui ne passe pas uniquement par des solutions énergétiques.

Christian Caye

Je voudrais demander aux constructeurs ce qu'ils ont pensé de cette démonstration méthodologique.

Louis de Millequant

Je l'ai trouvée géniale, avec une petite réserve : tu as présenté le double critère de performance énergétique et de coût d'investissement ou coût global pour un nombre de cas absolument époustouflant, puisque nous avons vu des myriades de points. Cela signifie que l'on passe par des méthodes probablement très approximatives de chiffrage. Or, les devis sont tous une combinaison linéaire de prix élémentaires. C'est un peu la limite du système. Je ne sais pas comment l'on pourrait produire 100 études de prix pour retrouver le meilleur après. Je parle de vraies études de prix.

Mathieu Rivallain

C'est vrai que l'on introduit des approximations par la méthode d'optimisation, mais pas par les méthodes d'évaluation. Toutes les solutions, ici, sont évaluées par le logiciel au développement duquel Bruno Peuportier a largement contribué, aux Mines, qui est Pléiades Comfie. Toutes nos solutions sont évaluées par simulation thermique dynamique. On peut donc avoir une certaine confiance en l'évaluation de ces solutions. En revanche, la contrepartie de ces méthodes est que cela demande un important temps de calcul. Ce sont des simulations que nous faisons sur plusieurs heures, voire plusieurs jours sur des ordinateurs, ce qui n'est pas forcément envisageable.

Louis de Millequant

Je repose ma question. Je n'ai absolument pas mis en doute le calcul technique de performance énergétique. Je sais très bien, parce que je pratique aussi Pléiades Comfie, que cela prend du temps, mais cela doit pouvoir quasiment s'automatiser. Ce qui m'a un peu plus interpellé, c'est le calcul économique, c'est-à-dire le calcul de l'abscisse.

Mathieu Rivallain

Sur ce point, nous avons besoin d'un dialogue renforcé avec les opérationnels de Vinci...

Louis de Millequant

D'accord. Tu viens quand tu veux...

Une participante

Quand je vois tout le travail que vous faites, je trouve qu'il serait assez intéressant de pouvoir l'appliquer pour essayer de questionner les solutions classiques qu'utilisent actuellement les offices HLM dans la réhabilitation des bâtiments, pour arriver à déterminer s'ils ont raison de continuer dans la voie qu'ils prennent. Parfois, cette voie paraît surtout dictée par l'assurance de solutions connues de tous, d'une part, et par des contraintes budgétaires, d'autre part, et

peut-être pas suffisamment avec cette vision à long terme, donc, plus prospective et finalement, plus économique. En tout cas, on peut imaginer que plus on réfléchit en se projetant sur les conséquences que cela peut avoir dans l'avenir, meilleur on est. Alors que la vraie difficulté, c'est la manière dont les opérateurs font actuellement de la réhabilitation. Est-ce que l'on ne va pas encore réhabiliter dans quinze ans ce que l'on est en train de faire aujourd'hui ? Il serait intéressant de voir si les méthodes que vous avez décrites ne pourraient pas permettre d'analyser ce que font les bailleurs sociaux actuellement.

Mathieu Rivallain

C'est un très bon commentaire.

Même participante

Je dis cela parce que je réhabilite des logements comme maître d'œuvre et que je me pose beaucoup de questions sur ce que cela va devenir.

Mathieu Rivallain

Si nous ne l'avons pas encore fait, c'est parce que nous avons aussi besoin que nos approches soient suffisamment développées pour pouvoir les comparer ensuite. L'objet de ces comparaisons que nous voulons faire, c'est ce que les informaticiens appellent des méthodes gloutonnes : à chaque instant, je fais ce qui me rapporte le plus à court terme. C'est clairement la méthode qui est suivie sur le terrain. Une fois que nos méthodes seront en place, nous comparerons justement avec des méthodes court-termistes, pour voir si des erreurs sont commises et, si c'est le cas, quel en est le niveau.

Il y a aussi d'autres aspects, dont nous n'avons pas parlé. La question de la résilience a été soulevée précédemment. Ce sont des évolutions dynamiques de climat que l'on peut essayer d'étudier avec nos méthodes. Si le climat évolue, est-ce que les optimums restent les mêmes ou non ? Il serait intéressant de répondre à ces questions.

Un participant

J'ai également trouvé cela intéressant. Dans une vie intérieure, je m'occupais de rénovation urbaine et donc, de restructuration de grands quartiers d'habitat social, et nous étions exactement confrontés à ces questions avec des bailleurs sociaux. Nous devons déterminer des stratégies d'efficacité énergétique et nous nous demandons notamment s'il valait mieux réhabiliter les logements ou investir dans le système de chauffage centralisé, qui produit de la chaleur pour ces milliers de logement. Est-ce que vous avez abordé ces questions dans le cadre de systèmes de grand chauffage urbain, qui peuvent être très pénalisants ?

Mathieu Rivallain

Ce sont des questions qui peuvent être étudiées. Elles ne le sont pas aujourd'hui au stade de développement de cet outil, mais elles peuvent tout à fait être considérées.

Un participant

Il est toujours difficile, à la suite d'une présentation qui dure dix minutes, de faire des commentaires pertinents. Louis de Millequant a bien senti le danger de prendre la conclusion pour argent comptant. Ceci dit, il est rare de faire des présentations qui commencent par « aide à la décision » et qui tiennent leur promesse, parce que l'on arrive vraiment à un outil d'aide à la décision. Par conséquent, bravo. Il reste à creuser un peu. Il y a probablement des choses qui ne fonctionnent pas, mais vous allez sûrement dans la bonne direction, celle que nous, opérationnels et nous, Vinci, nous attendons de cette recherche. Donc, continuez.

Mathieu Rivallain

Il nous reste du travail. Nous devons en particulier étendre ces méthodes au cas de parcs de bâtiments ; pour le moment, tout est implémenté sur un bâtiment, mais il faut que nous l'étendions à des parcs. Et il faut aussi que nous intégrions les notions de contraintes. Les bailleurs sociaux travaillent beaucoup avec des plans de financement sur plusieurs années ; nous pouvons intégrer ces contraintes à l'optimisation et voir comment elles influencent nos solutions.

La biodiversité dans la conception des bâtiments

Marc BARRA Écologue à Natureparif
Septembre 2011

natureparif
Agence régionale
pour la nature
et la biodiversité
en Île-de-France

Chaire
VINCI Paris
Eco-Design

AgroParisTech
AgroParisTech
AgroParisTech

École des Ponts
ParisTech

La question de la biodiversité dans l'éco-conception des bâtiments

Marc Barra, *Natureparif*

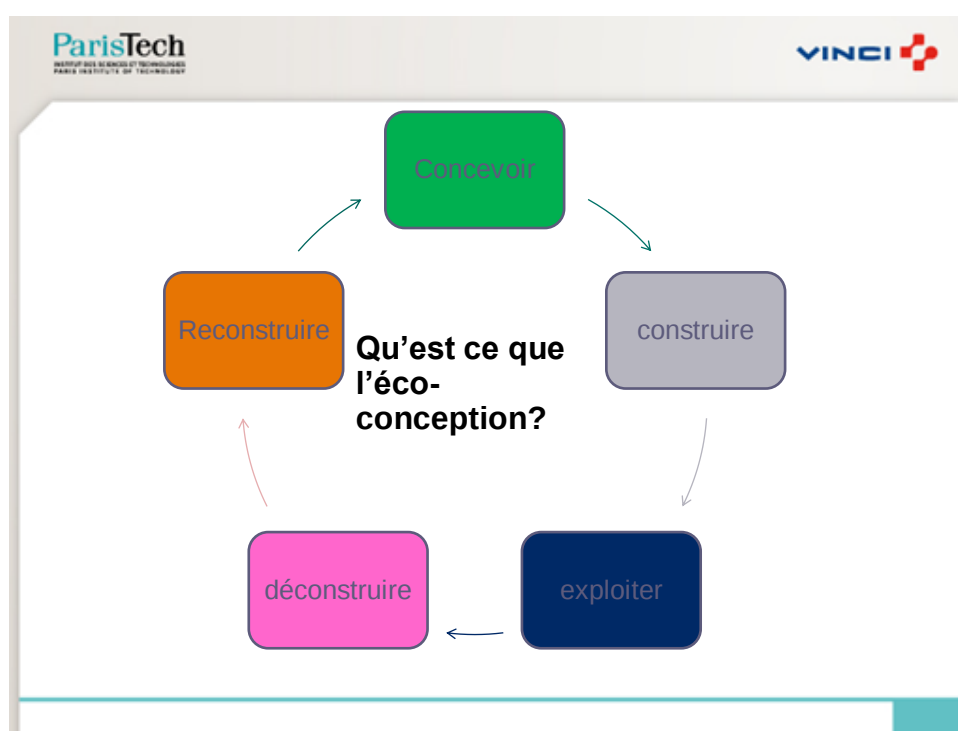
J'ai entendu des choses très opérationnelles et je sais que vous êtes des opérationnels. En bon scientifique, je vais davantage poser des questions qu'y répondre. La commande initiale, pour cette présentation, était de vous parler de continuité écologique. J'ai pris la main au pied levé pour vous expliquer la biodiversité dans la conception des bâtiments. C'est un travail que nous avons mené depuis janvier dernier à Natureparif, qui est l'agence régionale pour la nature et la biodiversité. Nous dépendons directement de la Région Île-de-France. Nous sommes un satellite, de la même façon qu'Ordif, pour les déchets, Airparif, pour l'air et Bruitparif, pour le bruit. Natureparif s'occupe de toutes les questions de nature et d'écologie en Île-de-France.

Ce travail a mobilisé une quarantaine de personnes, sous la forme de groupes de travail, pour réfléchir de manière assez large à la question de la biodiversité, qui est assez nouvelle et qui

est aussi en crise, au même niveau que celle du changement climatique. Je sais que dans le bâtiment, on parle beaucoup de changement climatique, d'efficacité énergétique. En tant qu'écologues, nous ne faisons pas tellement de distinction entre changement climatique et érosion de la biodiversité, parce que ce sont deux phénomènes interconnectés. L'esprit humain aime bien cloisonner les choses, mais dans la nature, cela se passe un peu différemment.

Je vais vous présenter les questions qui ont été parcourues par ces groupes de travail.

Je ne vous ferai pas l'offense de vous rappeler ce qu'est l'éco-conception mais pour nous, écologues, quand nous parlons d'éco-conception du bâtiment, nous voyons plusieurs phases.



C'est indissociable de l'analyse du cycle de vie. Nous parlons de la conception du bâtiment en amont, du choix de son emplacement, de la façon dont le programme va être rédigé, de sa construction et du bâti en lui-même, de l'exploitation, qui concerne la vie du bâtiment – et c'est souvent ce dont on parle quand on parle d'efficacité énergétique et des comportements des usagers –, de sa déconstruction, de sa fin de vie et de ce que nous avons appelé reconstruction, mais que l'on pourrait plutôt qualifier de rénovation. À cet égard, je suis d'accord avec ce que disait Mathieu Rivallain : le premier enjeu de la construction durable est peut-être de rénover et de reconstruire la ville avant de faire du neuf. Pour moi, le meilleur bâtiment pour la biodiversité est celui qui n'existe pas, qui n'est pas construit.

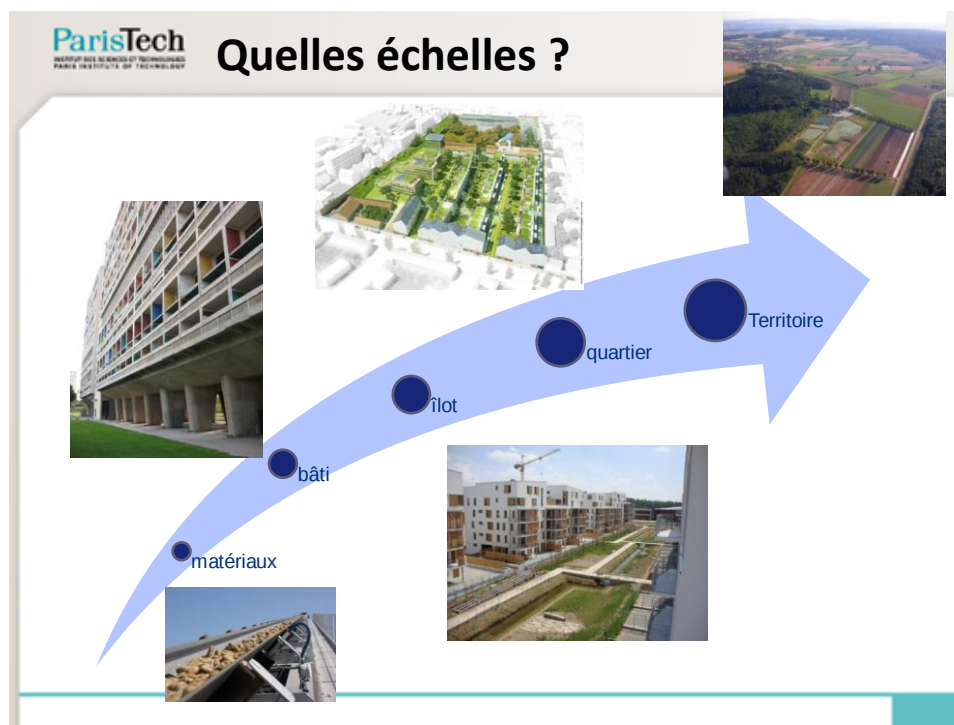
À côté de cela, des outils d'aide à la décision peuvent exister, des politiques fiscales qui pénalisent la sous-densité, qui forcent à utiliser les bâtiments non occupés. Je vous conseille de vous intéresser au nombre de logements et de bâtiments en Île-de-France, qui approche les 20 %. Cela remet en question le besoin de construire du neuf.

En écologie, quand on parle d'éco-conception, on s'intéresse aussi à différentes échelles, notamment pour la biodiversité. L'idée d'un bâtiment éco-conçu, ce sont des matériaux éco-conçus dans un bâti éco-conçu. Cette échelle des matériaux concerne directement

l'exploitation de ressources naturelles en amont, qui, aujourd'hui, dans un système assez mondialisé, peuvent venir de très loin. L'échelle du bâti lui-même et de ce qui concerne le foncier, que l'on grignote peu à peu, et qui pose donc la question de limiter l'étalement urbain et de favoriser la densification. L'échelle de l'îlot ou du quartier est un peu plus vaste ; il recouvre un ensemble de bâtiments et la façon dont ils sont agencés pour tenir compte des continuités écologiques – la trame verte et bleue –, de la fragmentation du territoire, de l'imperméabilisation des sols. Dans cette étude, toutes ces échelles ont été prises en compte.

Quand on évoque la biodiversité dans la construction, on nous parle souvent des nichoirs, des ruches à mettre sur les bâtiments. Nous n'aimons pas trop quand on nous parle des oiseaux et des petites bêtes parce que l'on nous prend des ayatollahs verts, pour des amis des bêtes. Beaucoup de réflexions sont faites en ce moment sur les espaces verts. Les villes réfléchissent notamment à la qualité de leurs espaces verts, en quantité et en qualité. La biodiversité n'est pas que cela. Ce ne sont pas non plus uniquement les ressources naturelles qui sont utilisées pour confectionner les matériaux comme le bois, les isolants, entre autres.

Quand nous parlons de biodiversité, nous nous intéressons plutôt à différentes échelles : celle des gènes, dans le sens où maintenir une biodiversité, c'est maintenir son patrimoine génétique. Grouper des arbres similaires, issus des mêmes populations, n'est pas adapté, face au changement climatique. Favoriser la diversité génétique est donc aussi un objectif de la préservation de la biodiversité. L'échelle des espèces est la plus connue ; l'enjeu est de varier les espèces, faune et flore confondues. Enfin, il y a l'échelle des services écosystémiques, c'est-à-dire le côté fonctionnel de la biodiversité, les services qu'elle rend à l'humanité ; dans le bâtiment, c'est un enjeu important, que ce soit pour les espaces entourant le bâtiment, pour les toitures végétalisées, pour les mares...



Certains font aussi une distinction entre biodiversité remarquable et biodiversité ordinaire. La biodiversité remarquable est celle dont on entend le plus parler et qui se voit – on devrait d'ailleurs plutôt dire « biodiversité remarquée ». La biodiversité ordinaire correspond à tout

ce qui fonctionne dans les sols. L'écologie du sol est un domaine assez vaste et méconnu et pourtant, les sols assurent des fonctions essentielles d'épuration, de filtration de l'eau, de fertilité. Le secteur du bâtiment est directement concerné par ces enjeux, parce qu'il touche au foncier.



La biodiversité dans la construction



- Oiseaux et petites bêtes ?
- Espaces verts ?
- Ressources naturelles ?



- Gène + espèces + services écosystémiques
- Biodiversité ordinaire + remarquable



L'érosion de la biodiversité induite par la construction se fait à ces différents niveaux : lors de la production des matériaux, avec l'extraction des granulats, par exemple, au niveau de la minéralisation des sols, qui est un enjeu fort. La Commission européenne a rendu en 2010 un rapport sur la fragmentation du paysage et l'imperméabilisation des sols : la France est l'un des pays les plus touchés et la courbe ne fait que grimper. Il faut donner une réponse à cette problématique. Autre niveau, dont on a davantage l'habitude de traiter : les consommations d'énergie, les rejets polluants et les rejets en eau. Ou encore la gestion des espaces verts, qui concerne aussi l'utilisation de pesticides aux abords des bâtiments. Et enfin, la question des déchets, qui est moins souvent abordée, mais qui se pose aussi dans l'éco-conception : que faire des sous-produits du patrimoine bâti et existant que l'on démolit ? Peuvent-ils être réutilisés en tant que nouveaux matériaux pour les futures constructions ?



Quelques exemples d'érosion de la biodiversité induite par la construction

- Conditions de production des matériaux de matériaux en amont
- Minéralisation des sols / imperméabilisation
- Fragmentation du territoire / grignotage de l'espace
- Consommations et rejets d'eau, d'énergie
- Gestion des espaces verts
- Déchets, sous produits et traitement en fin de vie



Voilà un ensemble de questions que nous nous sommes posées.

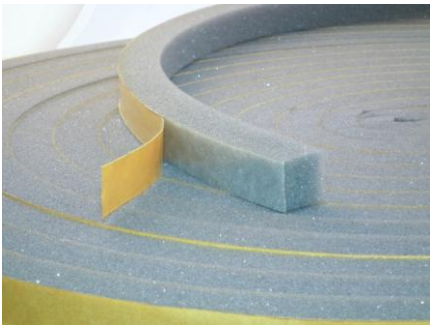
Je voudrais, sans être polémique, insister sur un point qui a été évoqué dans le groupe de travail. Dans le bâtiment, on met l'accent sur les économies d'énergie, sur l'isolation, sur les bâtiments BBC, Passive House, Minergie et toutes les normes de construction qui vont vers l'efficacité énergétique et la réduction des consommations d'énergie. Mais nous avons vu une liste de ce que l'on utilisait pour rénover les bâtiments et en faire des bâtiments à basse consommation : polyuréthane extrudé, expansé... Donc, des produits fabriqués à partir du pétrole. Dans ces conditions, les bâtiments passifs ou à énergie positive sont-ils des bâtiments écologiques, puisque l'on utilise beaucoup de ressources issues du pétrole ? Il faut bien fabriquer le double vitrage, de même que le béton éco-conçu... Pour moi, cette question reste en suspens : les normes énergétiques sont-elles écologiques, du point de vue du cycle de vie ? La question des panneaux solaires se pose aussi. Ils contiennent un certain nombre de terres qui, pour l'essentiel, sont rares, difficilement recyclables en fin de vie, et consomment un certain nombre de ressources. Est-ce que, sur l'intégralité de leur cycle de vie, ils n'émettent pas plus de CO₂ que ce qu'ils permettent d'économiser au niveau du bâtiment pendant qu'il est exploité ?

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

VINCI

Quid des bâtiments BBC ?

- Les normes énergétiques sont-elles des normes écologiques ?



Ces questions qui restent en suspens pourraient être intéressantes à traiter dans une chaire comme celle de Vinci.

S'agissant du volet de la nature, les bâtiments très bien isolés ressemblent un peu à des bunkers. On évite les ponts thermiques, ce qui empêche de creuser des trous pour installer des nichoirs à oiseaux ou poser des surfaces végétalisées. Les surfaces vitrées et très lisses ont des impacts sur la vie de la faune, quand on étudie les populations d'oiseaux. Ce sont des questions que les naturalistes se posent aussi.

Il m'a été demandé de parler d'applications concrètes.

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

VINCI

Applications concrètes



Il y en a assez peu. Les exemples sont plutôt à l'étranger, en Suisse, en Allemagne et au Danemark. Vous voyez le quartier d'Eva-Lanxmeer, au Danemark. En Île-de-France, en ce moment, avec le SRCE, le schéma régional des continuités écologiques, qui est porté par le niveau national et décliné au niveau des Régions, on cartographie, à différentes échelles – Région, départements et communes –, les continuités écologiques à préserver pour aménager le territoire. Les constructeurs sont directement concernés par ces décisions, puisque l'objectif est de choisir les sites adéquats et de traduire ce schéma régional des continuités au niveau des plans locaux d'urbanismes, qui sont des outils très forts pour l'aménagement du territoire. Aujourd'hui, certaines communes se sont lancées dans la révision de leur PLU, notamment en circonscrivant des zones inconstructibles, des zones constructibles sous conditions – sous condition de végétalisation ou de restauration de certains milieux, par exemple. Ces outils vous concernent directement.



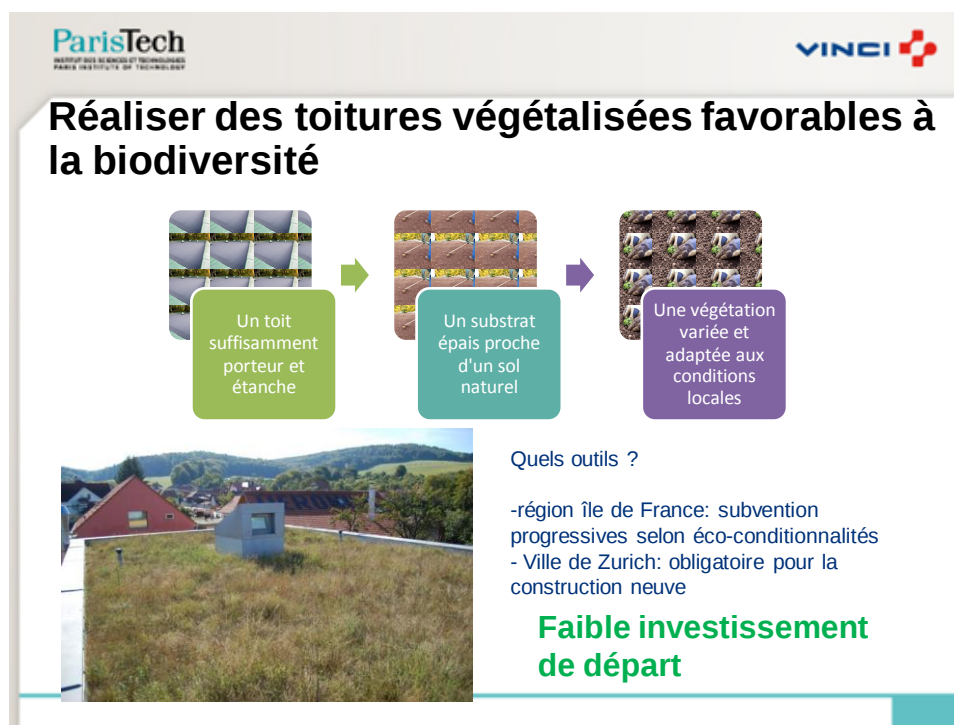
Articuler les projets avec la trame verte et bleue

- Schéma régional des continuités écologiques
- Plans Locaux d'Urbanisme
- Dialogue entre acteurs pour choisir l'emplacement idéal



D'autres communes, mais aussi des communautés de communes, donc les collectivités territoriales, de manière générale, se sont inspirées d'une démarche qui provient de la ville de Berlin : on attribue un permis de construire rattaché à un coefficient végétal. Pour construire, il faut donc un quota minimum d'espaces verts sur la parcelle, que ce soit sur le sol, sur les toits ou sur les murs. La ville de Montreuil, par exemple, accorde des bonus pour la création de toitures végétalisées. C'est également le cas en Suisse, où les villes de Bâle et de Zurich accordent des bonus pour la réalisation de surfaces végétalisées. Ces outils se développent de plus en plus.

Nous avons travaillé sur le sujet des toitures végétalisées. Aujourd'hui, on en voit de plus en plus. Généralement, les petites épaisseurs sont constituées de pouzzolane et de sedum, qui poussent de 3 à 5 cm et qui sont sans véritable effet sur le plan écologique ; elles ont un caractère esthétique, font de la verdure en été et rougissent en hiver. On peut plutôt s'inspirer de ce qui se fait chez nos voisins suisses, dont les toitures végétalisées présentent un substrat beaucoup plus épais et des espèces adaptées aux régions.



Un mécanisme a été lancé par la Région Île-de-France, auquel Natureperif a participé. La Région subventionne la réalisation de toitures végétalisées à hauteur de 50 € / m². Le mécanisme consiste à attribuer des éco-conditionnalités : plus la toiture est favorable à la biodiversité – un sol épais, des espèces adaptées aux conditions –, plus on approche du maximum de la subvention. Moins elle y est favorable, moins la subvention est élevée : on n'obtient que 10 € ou 5 € / m².

Ce sont des outils réalisés par les pouvoirs publics pour inciter à faire mieux.

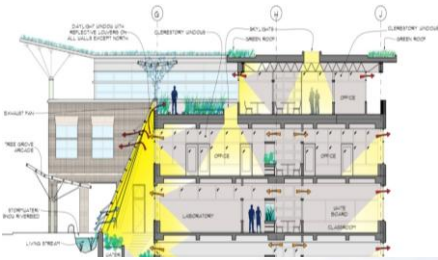
S'agissant de l'architecture, plusieurs architectes sont intervenus dans ce groupe de travail. Ils remettent assez sérieusement leur profession en cause, actuellement. Je fais un peu de provocation en vous montrant cette photo : nous n'allons pas tous vivre dans des bâtiments comme celui-là. Mais elle traduit l'idée d'améliorer l'intégration paysagère des bâtiments et de les rendre plus accueillants pour la nature par des surfaces végétalisées et pourquoi pas, des continuums végétaux sol – toit.

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

VINCI

Architecture : créer des bâtiments-support de biodiversité

- Respecter l'identité géographique, paysagère et biologique
- Accroître les surfaces végétalisées (idée de continuum végétal ?)
- Préserver les sols de l'imperméabilisation
- Créer des bâtiments accueillants pour les espèces autochtones
- Préserver les sols de l'imperméabilisation



Je suis allé visiter un éco-quartier qui a été réalisé à Bayonne. La commune a lancé un plan des continuités écologiques. Certaines règles sont à respecter pour préserver ces trames écologiques. Cet éco-quartier a été créé en plein milieu d'un espace boisé, où de nombreux petits mammifères se déplacent. Il a donc été décidé – c'est un essai – de réaliser ces bâtiments sur pieux, sur pilotis.

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

VINCI

Et les sols ?

- Sols méconnus mais aussi important pour la biodiversité!
- => Assurent des fonctions essentielles
- **PIEUX / PILOTIS**: corridor écologique + infiltration de l'eau + fertilité des sols

Coûts supérieurs dans certains cas



Le sol n'a pas été affecté dans sa totalité. Des scientifiques suivent le déplacement des espèces sous les pieux. Ce système facilite aussi l'écoulement de l'eau, d'où de moindres travaux d'aménagement pour la récupération et la canalisation de l'eau. Il y a simplement des noues, en bas de quartier, qui récupèrent les eaux de ruissellement. J'ai trouvé ce système assez innovant. Mais je pense qu'à l'investissement, les coûts sont supérieurs.

C'est le côté naturaliste des choses. On voit se développer des bâtiments très agréables, avec des charpentes où sont intégrés des nichoirs. Les architectes, actuellement, s'intéressent beaucoup aux murs végétalisés. Le coût de ces aménagements est très faible si c'est anticipé dès le départ.



Créer des bâtiments-refuges pour les espèces

- Assurer la colonisation ultérieure par le vivant (plantes grimpantes, structures-nichoir)
- Plantes grimpantes ou murs végétalisés ?
- Structures nicher
- Charpentes
- Crépis et façades

Faible coûts!!



La question des matériaux reste l'une des plus difficiles à aborder. Aujourd'hui, on est pratiquement incapable de savoir, quand on achète un matériau, d'où proviennent ses constituants, quels sont ses effets sur les milieux et sur la biodiversité... L'affichage environnemental est assez opaque. Le ministère travaille d'ailleurs à la question. J'ai suivi l'étude d'un cabinet de conseil, Evéa, qui a fait un comparatif des matériaux : béton, béton normal, béton éco-conçu, béton Klinker et béton de chanvre. L'étude a montré que le béton de chanvre avait des propriétés assez efficaces dans certaines situations, notamment si l'on pouvait le produire à proximité. Il n'en est pas ressorti qu'il fallait faire uniquement des maisons en béton de chanvre, mais que ce matériau apportait des solutions pour certaines localités.

Nous travaillons avec le ministère de l'Écologie sur un autre enjeu, celui des labels et de la traçabilité des matériaux de construction.



Les matériaux pour favoriser la biodiversité

- Les impacts ne sont pas toujours là où on les attend
- AGROMATERIAUX : béton de chanvre et chaux, fibres de bois et lin, ouates de cellulose, chaume, torchis...).
- **Origine** (provenance géographique et mode de production) => LOCALITE
- Favoriser l'approvisionnement local ou la réutilisation des matériaux
- Labels et traçabilité, certifications (ex. FSC)
- Prévoir la fin de vie des matériaux (ACV) éco-conception

Coûts variables et filières non organisées



Je suis allé récemment à Lausanne voir un projet de fabrication d'un bâtiment avec des matériaux provenant d'un rayon de 50 km à la ronde. Le bâtiment est en pisé, constitué de terre tassée avec un peu d'eau et d'argile ; l'isolation est en paille, selon une méthode américaine. Je m'attendais à voir une maison en paille rappelant le Moyen Âge, mais elle est très moderne et très bien conçue. L'isolation énergétique est performante, puisque dans le bâtiment, la température est de 20 à 25°C toute l'année. Il y a simplement une chaudière à granulés de bois pour s'ajuster aux froids assez rudes que connaît Lausanne, en hiver. J'ai trouvé assez intéressante cette initiative de construire une maison passive avec des matériaux uniquement locaux. Sur le plan de l'analyse du cycle de vie, la performance énergétique est bonne et l'énergie grise est réduite à son maximum. On ne construira pas partout des bâtiments en paille, mais puisque chez eux, il y a de la paille à proximité, réaliser des bâtiments avec des matériaux locaux est une alternative intéressante.

Le projet Eco46 à Lausanne

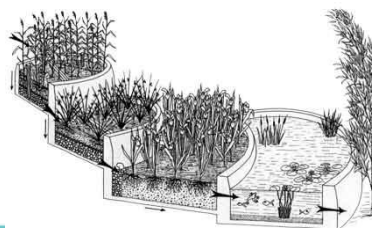
- Matériaux issus d'un rayon maxi de 50km
- Bruts, sans transformation excessive ni polluants
- Comment booster les filières ?



Un dernier exemple, puisque nous sommes très sollicités, en ce moment, à propos du traitement de l'eau à l'échelle des bâtiments. Un moyen de traiter certains types d'eaux usées, de fertiliser les sols et de permettre l'accueil des espèces près des bâtiments est le système de phyto-re-médiation. Au Danemark, à Eva-Laanxmer, toutes les eaux usées, eaux noires et grises, sont traitées au sein de bassins de phyto-re-médiation. C'est assez efficace pour la pollution bactérienne et microbiologique. Il y a même un procédé suédois qui est sorti récemment, qui permet de faire du biogaz à partir de l'eau des toilettes – les eaux noires – et qui fonctionne très bien. En matière de source énergétique pour les bâtiments, cela fait aussi réfléchir. De plus, ce sont de faibles coûts d'investissement si c'est prévu dès le départ.

Phytoremédiation: traiter les eaux à l'échelle des bâtiments

- **Bassins de rétention** à l'échelle des éco-quartier
- **Mares** au sein des parcs et jardins
- Zones de **lagunage** en milieu semi naturel et rural
- Faisabilité de la **phytoremédiation** (eaux grises et noires)



Faible coûts d'investissement

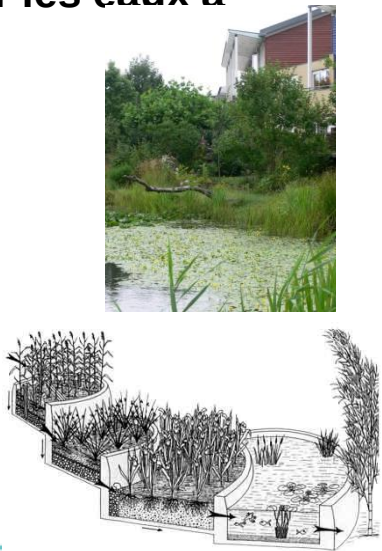
Le travail du groupe fera l'objet d'une production à la fin de l'année, en décembre ou en janvier. Ce sera un guide pratique avec des fiches techniques sur l'ensemble de cycle de vie du bâtiment et la prise en compte de la biodiversité. Nous prévoyons une rencontre technique en 2012, à laquelle vous êtes conviés.



Phytoremédiation: traiter les eaux à l'échelle des bâtiments

- **Bassins de rétention** à l'échelle des éco-quartier
- **Mares** au sein des parcs et jardins
- Zones de **lagunage** en milieu semi naturel et rural
- Faisabilité de la **phytoremédiation** (eaux grises et noires)

Faible coûts d'investissement



Christian Caye

Je suis fasciné par cette nouvelle économie de la biodiversité. J'en attends beaucoup, mais c'est encore émergent. On a du mal à savoir comment on va la traiter. Nous avons déjà vu que c'était compliqué, avec les deux interventions précédentes. Mais l'intégration de la biodiversité dans des modèles économiques urbains, même de la biodiversité non remarquable, ordinaire, est autrement plus complexe. Il va falloir un certain temps avant d'arriver à un modèle économique rigoureux.

Un participant

C'est intéressant, parce que nous sentons tous, confusément, que nous avons là quelque chose de très important.

Je voudrais faire une remarque de méthode. Je suis un peu irrité parce que nous avons eu droit aux exemples de Londres, Nuremberg, Zurich, Lausanne, alors que ce sont des choses de bon sens. De quoi manquons-nous ? Sommes-nous vraiment en retard ou tous ces projets-là sont-ils mieux documentés, mieux publiés à l'étranger ? De quoi cela provient-il ? De la paresse des chercheurs, qui vont toujours chercher l'exemple de Nuremberg, qui est bien connu ? Mon voisin a une maison en argile et en paille, qu'il a construite lui-même avec ses frères. Nous ne manquons pas d'exemples, tout de même. Ce que je dis n'est pas méchant, mais je suis simplement un peu irrité par cette approche.

Marc Barra

Nous n'avons pas beaucoup d'exemples, parce que la réglementation, en France, ne facilite pas la réalisation de ce type de bâtiment. Si vous interrogez votre voisin et que vous lui demandez s'il a été facile de réaliser sa maison en paille, je pense qu'il vous dira non. Rien n'a été facilité pour obtenir son permis de construire, trouver les matériaux, faire sa toiture... Tout est difficile, aujourd'hui. Par exemple, pour les toitures végétalisées, un sujet que l'on traite assez bien, personne ne vous aide, en France. Donc, vous allez choisir la solution la moins chère possible et la monter rapidement et avec les moyens du bord. En Suisse, la réglementation vous donne des subventions et en plus, des éco-conditionnalités pour réaliser votre maison d'une certaine façon. Je suis d'accord avec vous : nous aurions pu prendre des exemples français, mais nous allons voir chez les voisins parce que la réglementation est différente, tout simplement.

Même participant

Oui, mais ce n'est pas anecdotique. En ce moment, nous sommes dans une période où il faut éduquer, former, informer. Il faudrait que le voisin du voisin ait les informations sur ce qui se fait à proximité. Quel est l'intérêt de savoir comment a été construite une maison à Nuremberg alors que chez nous, cela ne se fait pas comme cela ?

Marc Barra

Oui, il faut diffuser de l'information. Mais en l'occurrence, nous sommes à des années-lumière de choses inscrites dans la réglementation, dans la fiscalité.

Même participant

Nous en sommes au tout début. C'est pourquoi c'est intéressant.

Marc Barra

Notre idée est d'apporter ces idées et des pistes de réflexion, mais la prise de conscience des enjeux de cette question n'est pas aussi avancée que pour le changement climatique, par exemple, et tout ce qui l'accompagne en termes de normes et de réglementation.

Même participant

Mais cela n'enlève rien à l'intérêt de ta présentation.

Un autre participant

On sent bien que ce sont des domaines qui bougent. Vinci a signé l'adhésion à la stratégie nationale de la biodiversité, si je ne me trompe pas. Vous qui travaillez sur ces questions, qu'attendez-vous d'une entreprise comme Vinci ? Dans dix-huit mois, l'entreprise devra avoir produit un plan d'action. Quel type de sujet, quel type de moyens, quel type de champ expérimental attendez-vous ?

Marc Barra

Nous attendons beaucoup de choses et en particulier, pour les grosses entreprises comme Vinci, nous avons beaucoup d'attentes en matière de recherche & développement. C'est ce que vous faites en employant des chercheurs et des thésards et en réalisant des tests qui, si possible, vont vous servir. Je sais qu'il y a une thèse en cours sur la biodiversité, à Vinci. Plus tard, nos attentes porteront sur de nouveaux marchés à saisir : celui des toitures végétalisées, des agro-matériaux... En matière d'énergie, je vois les grosses entreprises du bâtiment comme des concurrents réels des entreprises énergétiques, à l'avenir. Aujourd'hui, par exemple, vous construisez des maisons passives avec des panneaux solaires, et il faut revendre son électricité au principal opérateur d'énergie, EDF, qui la récupère, pour ne pas vous pénaliser. Si, demain, la réglementation évolue, vous construirez des bâtiments passifs qui produisent leur propre électricité avec un mix énergétique, si possible d'énergies renouvelables, vous vous poserez en vrai concurrent des opérateurs énergétiques. C'est mon idée, mais en tout cas, je vois pour vous de nouveaux marchés comme celui-là, puisque l'on n'arrêtera jamais de construire.

Christian Caye

C'est ce qu'essayais de dire en parlant de nouveaux modèles en émergence. Mais pour le moment, c'est en conception.

Il y a ici un garçon qui s'appelle Jean et qui a peut-être des choses à dire sur le sujet. Il y en a un autre qui s'appelle Alexandre et qui fait sa thèse sur un sujet proche. Il y a aussi Céline.

Céline

Nous avons parlé des bâtiments mais finalement, à part l'exemple suédois, nous ne intéressons pas tellement à l'occupant ni à l'usage du bâtiment. Pourquoi, dès lors, ne pas étendre le sujet aux ouvrages d'art, au génie civil, où il y a aussi des occasions de créer des habitats ? Sans habitants, c'est parfois plus facile. Nous sommes parfois confrontés à cela sur des chantiers autoroutiers, où l'on crée des passages à animaux, par exemple. C'est peut-être aussi un moyen de valoriser cela.

Par ailleurs, même si je ne suis pas spécialiste, je voudrais donner un exemple pris à l'étranger. Je travaille pour Vinci sur un chantier, à Londres, et nous allons passer par un organisme qui s'appelle Biodiversity Benchmark, qui va faire une évaluation, à l'échelle de la construction, des mesures en faveur de la préservation en fonction de la biodiversité sur le chantier.

Marc Barra

En effet, cela se pratique beaucoup dans le milieu autoroutier et de la construction de routes et cela donne lieu à des mesures compensatoires. Cela pourrait s'appliquer à nombre de choses. On le fait sur bâtiment parce que c'est la commande initiale, mais cela pourrait se faire sur n'importe quel type d'infrastructure qui interagit avec le foncier, donc, avec le milieu naturel et donc, avec la biodiversité.

Un participant

Dans la présentation qui a été faite, il reste un certain flou sur les raisons pour lesquelles on veut faire tout cela. On sent bien, intuitivement, qu'il faut ajouter de la biodiversité en ville,

mais le propos reste un peu court sur les services que cela va rendre. Certes, c'est joli. Les villes plus vertes sont plus agréables à vivre ; c'est déjà ça. On entend souvent dire que cela va améliorer la performance énergétique des bâtiments, que cela va agir positivement sur le cycle de l'eau dans la ville, sur la pollinisation... Je vais arrêter ma liste là ; je pourrais la poursuivre. Mais est-ce que l'on est capable de quantifier ces services ? Et n'y a-t-il pas un frein au développement dans le fait que l'on manque de billes qui permettraient de dire, par exemple, que la réalisation de tel type de végétalisation sur un toit coûte tant, mais que l'on récupère tant en inertie thermique, etc. ? N'est-ce pas une des raisons pour lesquelles le développement de ces techniques n'est pas aussi rapide qu'il pourrait l'être ? Si nous ne sommes pas très armés pour quantifier ces gains, il faut faire des recherches sur l'évaluation des services et sur la conception, l'espèce d'ingénierie écologique nécessaire pour concevoir un toit.

Marc Barra

Absolument. C'est la raison principale, puisque les élus et ceux qui décident veulent des chiffres et des éléments comparatifs pour pouvoir trancher.

Pour ma part, ayant fait de l'écologie, qui est une science complexe, et compte tenu du temps qu'il faudra pour disposer de mesures réelles et d'indicateurs fiables pour ces évaluations, je me dis que l'on pourrait aussi prendre des mesures, sans regrets. Je ne pense pas que remettre de la végétation en ville, au lieu de n'avoir que des espaces très minéraux, puisse nuire outre mesure. Et en termes de services, on pourrait aussi prendre des mesures pour tout ce qui a trait au stockage de carbone et aux îlots urbains.

Même participant

Si l'on fait cela, on risque de tomber dans le piège qui a été dénoncé dans l'exposé précédent, où Mathieu Rivallain expliquait que l'on avait réhabilité un bâtiment en 1990 et qu'aujourd'hui, il fallait tout recommencer.

Marc Barra

Pourquoi ne pas faire des bâtiments réversibles ?

Même participant

Si l'on commence à mettre de la biodiversité un peu partout, au hasard, sans trop savoir les objectifs que l'on vise – la perméabilisation, la thermique du bâtiment, la pollinisation et que sais-je encore –, si l'on ne sait pas clairement les objectifs que l'on poursuit, on risque de ne pas faire les choses correctement, de mettre du sedum partout...

Christian Caye

Nous sommes dans le cas figure assez traditionnel de l'émergence d'un marché, où une demande apparaît, à laquelle on apporte des réponses avec les moyens dont on dispose à ce stade. Il en a toujours été ainsi et il est normal que la réponse du monde scientifique soit : allons-y lentement, il faut savoir de quoi l'on parle et avançons sereinement. Mais, en même

temps, il y a la réalité du monde et de ses attentes. On veut du bonheur, de la biodiversité, des choses qui sont moins mesurables.

Avant de passer la parole à Alexandre, en exclusivité mondiale, nous allons voir le film qui lui est consacré, comme nous l'avons fait pour Mathieu.

Projection du film

« Bonjour. Je suis Alexandre Henri. J'ai une formation d'écologue et je suis étudiant à AgroParisTech, en doctorat, pour la chaire Éco-conception Vinci – ParisTech. Ma thèse porte sur l'aménagement des éco-quartiers et la biodiversité. La biodiversité, c'est la vie ; sans elle, la survie des espèces serait impossible et en particulier, celle de l'homme. Depuis quelques années, cette biodiversité est donc prise en compte dans les aménagements, et c'est important pour que la ville soit un système durable et fonctionnel.

En milieu urbain, ce sont toutes les espèces qui la composent, à la fois animales et végétales, dans tous les espaces qui sont disponibles pour elle, à la fois les parcs, les rues, les toits, les terrasses. Cette biodiversité peut permettre d'apporter plusieurs services écosystémiques : la régulation du microclimat, l'épuration des eaux, la filtration de l'air... Ces services sont vraiment utiles en ville, et c'est la biodiversité qui le permet, grâce à des processus.

Pour intégrer la biodiversité en ville, il n'y a pas de recette miracle. C'est juste du bon sens. Lorsqu'il y a un projet d'aménagement, notamment, il faut préserver les principales parties existantes comme les morceaux de forêt, les parcs... Il y a aussi un choix à faire sur les espèces que l'on veut planter, en privilégiant les espèces non invasives et non exotiques. On peut aussi créer des corridors écologiques pour relier les différents parcs au moyen de toits végétalisés, d'arbres dans les rues... Ensuite, il faut tout gérer de façon différenciée et surtout, sensibiliser le public à cette gestion.

La chaire m'apporte une vision différente du monde scientifique, car ce sont des professionnels de la construction qui sont au sein de cette chaire. Grâce à eux, on a une perception différente. J'ai aussi pu obtenir beaucoup de contacts, notamment avec des architectes, des urbanistes, qui m'aident beaucoup à avancer sur le sujet de ma thèse.

Tous les acteurs urbains peuvent être intéressés par mes recherches, notamment les municipalités, les architectes, les urbanistes. Concrètement, je peux leur apporter des préconisations sur la manière d'aménager la ville d'un point de vue écologique, en préservant la biodiversité.

Vinci peut appliquer mes recherches notamment dans la construction de bâtiments et de parkings, par la mise en place de toits végétalisés, de parcs éco-conçus. Mes travaux seront diffusés au sein du groupe Vinci, mais seront aussi disponibles sur le site Internet, pour tous ceux qui s'y intéressent. »

Alexandre Henri, doctorant, AgroParisTech

Si vous avez des questions, je suis à votre disposition.

Un participant

Je m'interroge sur l'efficacité en fonction de l'échelle d'action. Dans l'exposé précédent, nous avons eu plusieurs exemples à l'échelle du bâtiment et finalement, on observe que soit on l'enterre, soit on le met sur pilotis, ce qui n'est pas à moindre coût. L'échelle d'action la plus

efficace ne serait-elle pas celle du quartier ou de la ville ? Quand on voit qu'un constructeur isolé veut faire une toiture végétalisée et n'est pas aidé, on peut se demander si la clé n'est pas dans la coordination de ces aménagements à l'échelle de plusieurs bâtiments et de réseaux écologiques pour atteindre une cohérence.

Marc Barra

C'est en effet à une échelle plus large que celle du bâtiment qu'il faut gérer la question de la biodiversité et surtout, prendre en compte ce qu'il y a autour du quartier et de la ville : les grands espaces, les forêts, les espaces naturels, parce c'est là qu'il y a le plus de biodiversité. Et la ville fait une sorte de rempart entre ces différents grands pôles de biodiversité. Si l'on raisonne uniquement à l'échelle du quartier, l'impact n'est pas énorme. C'est toute la ville qu'il faut changer pour améliorer la biodiversité.

Un participant

Je suis moyennement satisfait de la réponse. Ne comporte-t-elle pas le risque de dédouaner le constructeur ou l'aménageur ? Et de les entendre dire : « de toute façon, des petites bêtes, il y en a dans la forêt d'à côté. Je n'ai enlevé qu'un quart de cette forêt, ce n'est pas grand-chose, et je vais mettre un peu de gazon japonais. Cela fera de biodiversité visible, avec des petites fleurs et des papillons dessus... » Il me semble qu'il faut parvenir pas à impliquer chaque acteur à l'échelle qu'il maîtrise – l'aménageur pour le quartier, le constructeur pour le bâtiment... En tout cas, ce n'est pas ce que j'attends de la chaire dans le domaine. Est-ce que l'on peut aborder une opération, quelle que soit sa taille, avec l'idée de tirer parti de cette opération et des flux d'énergie qu'elle apporte – matière grise, ressources, finances – pour, au minimum, ne pas dégrader la biodiversité par rapport à l'état préexistant et, pourquoi pas, aller plus loin ? Nous avons étudié très approximativement, il y a près d'un an, une opération de réhabilitation de friche industrielle. C'était un terrain potentiellement pauvre – nous n'avons pas eu le temps de faire un bilan écologique sur place. Mais nous nous sommes dit qu'il y avait peut-être une opportunité d'aborder l'opération dans la perspective de restituer un espace amélioré par rapport à ce qu'il était auparavant. De ce point de vue, nous avons besoin des écologues – nous, nous sommes des ingénieurs du béton armé –, pour qu'ils nous conseillent tel type de végétation, tel ratio d'espaces verts... Derrière les considérations générales, empiriques ou même étayées, mais sur des disciplines plus qualitatives, nous attendons aussi des réponses un peu plus quantitatives, un peu plus techniques. En restant raisonnables, certes ; mais derrière la philosophie d'une opération, il arrive un moment où il faut savoir combien de kilos de semence de telle espèce il faut acheter, ce que l'on met comme support, etc.

S'agissant des toitures végétalisées, nous avons réalisé, dans mon service, il y a deux ou trois ans, une étude sommaire, mais qui montre que sur le plan énergétique, l'impact est quasiment insignifiant. En revanche, sur le plan du coût, il n'est pas insignifiant, parce que dès lors que l'on met un substratum épais, on apporte des charges non négligeables sur les fondations et donc, il faut renforcer la structure. Dès lors, le problème se pose de la manière suivante : suis-je prêt à payer pour avoir du ray-grass sur le toit et des chèvres qui puissent brouter ?

Un participant

En tant que porteur, à la chaire, de cet axe de recherche autour du vivant dans la ville, je partage tout à fait ce point de vue, qui va dans le sens de mon intervention précédente. Ce

qu'il faut, c'est définir les objectifs que l'on veut atteindre, étudier les fonctions qui permettent d'y parvenir et quantifier le tout. À cet égard, il faut bien reconnaître que dans cette thématique, nous sommes vraiment en retard par rapport à d'autres aspects comme, par exemple, les éco-matériaux. Quand on utilise du béton avec des fibres de chanvre, on sait combien cela coûte, on sait ce que l'on va gagner en termes de résistance mécanique ou thermique... Ou bien, dans l'analyse du cycle de vie, on sait combien on va gagner par rapport au coût carbone du bâtiment. C'est beaucoup plus difficile à estimer en matière de toits végétalisés. Vous avez raison de citer, dans votre étude, le rôle des toits végétalisés dans la thermique du bâtiment. Pour notre part, nous avons aussi fait une étude bio, qui montre qu'il y a quand même énormément de résultats scientifiques qui sont très variables. Certains font état d'une certaine efficacité, d'autres, au contraire, disent qu'elle est nulle. Cette très grande variabilité dépend de beaucoup de paramètres, et nous avons besoin de modélisation, sur ces aspects. C'est bien le sens des travaux.

Alexandre, ta thèse est un peu sous-vendue, puisque c'est précisément ce que tu fais ; pas tellement dans l'évaluation des services écosystémiques tels que la régulation thermique ou le rôle dans le cycle de l'eau. Toi, tu travaillerais plus sur les fonctions écologiques dans le cadre [...] (changement de face de cassette). Je ne vais pas entrer dans le détail. On peut même ajouter un nouvel élément qui est un peu récent, dans le cadre de ta thèse : tu vas intégrer aussi, dans l'évaluation du rôle que peut jouer la biodiversité ou dans la manière dont on peut mettre la biodiversité dans la ville, le point de vue de plusieurs acteurs, en utilisant une modélisation multi-agents, pour étudier les contraintes que cela peut poser pour plusieurs types d'acteurs.

Mais cela fera peut-être l'objet d'une autre soirée, parce que le temps tourne.

Christian Caye

Ce n'est pas le temps qui tourne, c'est nous qui tournons...

S'agissant de l'actualité des prochains événements, le 8 novembre, nous fêterons le troisième anniversaire de la chaire. Ce sera la journée scientifique de la chaire, sur le thème : « éco-conception et usage du sol ». Elle se déroulera à AgroParisTech.

Un participant

Pour s'inscrire, il suffit d'aller sur le site de la chaire et de cliquer sur un lien. Il y a déjà 90 inscrits. La demande est donc assez forte, ce qui m'inquiète un peu par rapport à la capacité d'accueil de l'école, mais nous allons essayer de trouver des solutions. Le programme est décomposé en deux parties. La première abordera les aspects économiques de l'usage des sols, les choix à faire : est-ce que je mets un parking ? Est-ce que je mets des bâtiments ? Comment est-ce que l'on évalue ces choix au plan économique ? La deuxième partie traitera d'une problématique un peu plus originale, celle de l'agriculture en ville – *urban agriculture*. C'est aussi une autre façon d'aborder la question de l'usage des sols. De plus en plus, on demande au sol de la ville de produire, chose que l'on demandait autrefois au sol de la campagne. Nous verrons comment raisonner tout cela, quels problèmes cela pose, quels sont les aspects qu'il faut considérer. Ce sera l'objet de l'après-midi de cette journée scientifique, de cette conférence sur l'usage des sols.

Christian Caye

Je suis assez content de ces conférences. Il faut les continuer. Elles donnent lieu à des débats. On sait bien que l'économie de la biodiversité est plus émergente que l'économie du bâtiment.

Par ailleurs, je signale deux autres événements, pour les gens de Vinci. Nous allons consacrer une journée aux véhicules électriques, le 18 novembre, pour savoir si ce que l'on nous dit sur la technologie, les infrastructures et les modèles économiques relève de l'info ou de l'intox. Nous organisons cette journée sur les véhicules dé-carbonés avec le ministère concerné. Une autre journée, le 15 décembre, en partenariat avec le Pacte mondial de l'Onu, portera sur la manière de travailler avec les associations environnementales sur les grands projets où l'impact de la biodiversité est très fort.

Transcription : Résumémo, Nantes – 02 40 47 12 70