

Chaire ParisTech

Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures

« Eco-conception et réhabilitation
des bâtiments »

Conférence de la Chaire du 12 Juin 2012



QUARTIER

Ouverture de la conférence

Maxime Trocmé, *Responsable environnement et scientifique, VINCI*

Merci d'être venus toujours plus nombreux ; nous sommes encore plus nombreux que la dernière fois. Je voulais commencer en présentant les excuses de Christian Caye qui n'a pas pu se joindre à nous. Il est chez Vinci Construction France en Rhône-Alpes, en train de faire un autodiagnostic développement durable.

Je fais quelques rappels sur la chaire, pour ceux qui ne la connaissent pas encore. La chaire est du mécénat scientifique de Vinci. C'est un partenariat de long terme entre Vinci et trois écoles de ParisTech qui sont l'Ecole des Mines, l'Ecole des Ponts et l'Agro ParisTech. L'objectif de la chaire est de faire progresser les outils et les référentiels de l'éco-conception du bâti et des infrastructures. Nous arrivons quasiment en fin de quatrième année de l'existence de la chaire. Nous en sommes à la quinzième conférence et à la onzième de ce format chez Vinci.

Ce soir, nous allons parler d'éco-conception et de réhabilitation. Nous avons décidé de faire des présentations croisées en tandem entre des entrepreneurs de Vinci et des chercheurs dont les travaux sont financés par la chaire. La première présentation parlera de garantie de performance énergétique dans les bâtiments en rénovation. Véronique Pillot de GTM Bâtiment (pôle réhabilitation), en charge d'études de prix, va nous présenter la problématique que pose la rénovation énergétique. Olfa Meri, post-doctorante à l'Ecole des Mines de Paris, viendra nous présenter ses travaux sur les modèles de simulation thermique des bâtiments. La deuxième présentation se fera en tandem entre David Ernest de chez Vinci Facilities et Mathieu Rivallain de l'Ecole des Mines et de l'Ecole des Ponts, qui fait sa thèse en partenariat avec les deux écoles. L'objet de cette présentation sera la rénovation des parcs de bâtiments. Avant ces deux présentations en tandem, Jean-Luc Bonabeau, le Directeur général de l'Office d'HLM du 77, qui nous a fait l'honneur d'être présent, va nous présenter les enjeux des maîtres d'ouvrage en termes d'éco-conception et de rénovation énergétique de leurs bâtiments. Je passe donc la parole à monsieur Bonabeau.

Comprendre les enjeux des maîtres d'ouvrage

Jean-Luc Bonabeau, *Directeur Général, Office public de l'Habitat de Seine-et-Marne*

Merci. Je ne reviens pas sur les besoins énergétiques des bâtiments, ni sur l'isolation. En ce qui concerne le logement social, on considérait que 800 000 logements étaient dans des classes défavorables et qu'il fallait les rénover. Cette rénovation a commencé, mais il y en a encore beaucoup à rénover pour obtenir des bâtiments de classe C. Je vais vous expliquer comment, en tant que bailleurs, nous essayons de réfléchir à ce sujet. Je rappelle souvent, parce qu'il est important de le dire, que nous représentons 16 % de la population logée pour 11 % des consommations, ce qui veut dire que nous étions déjà de bons élèves. Le métier de bailleur social est parfois un peu décrié et dénaturé. Sur cet aspect, il faut rappeler que nous n'avons pas attendu le Grenelle pour commencer à réfléchir sur la manière d'isoler nos bâtiments. Nous avons déjà fait des programmes depuis fort longtemps.

Aujourd'hui, la vraie difficulté qui se pose à nous est de savoir comment financer ces travaux importants dont nous savons qu'ils vont apporter des économies. Pourquoi faire faire des économies à nos locataires ? Je crois qu'aujourd'hui, nous sommes tous confrontés à ce débat. Nous ne pouvons pas baisser les loyers, nous les augmentons même légèrement en cas de réhabilitation. Pour ne pas que cela pèse sur les ressources de nos locataires, il faut faire baisser le poste charges. Comme les énergies augmentent, il faut que l'on active tous les leviers qui nous permettent de faire baisser les charges des locataires, de faire baisser globalement leur quittance.

La nouvelle Ministre a des objectifs ambitieux, il va donc peut-être se passer des choses dans les semaines à venir. A ce jour, il n'y a plus aucun financement d'Etat pour aider les réhabilitations des bailleurs sociaux. C'est une vraie difficulté. Il y a tout de même des leviers : des déductions sur la taxe foncière que l'on paye en fonction des travaux que l'on réalise, les certificats d'économie d'énergie que l'on peut vendre aux producteurs d'énergie et à beaucoup de personnes. Avant la fin juin, nous allons signer une convention, nous nous sommes associés à quatre bailleurs pour essayer de peser davantage et d'obtenir des tarifs plus importants. C'est une manière de financer nos réhabilitations, mais cela ne suffit pas. Par ailleurs, l'Etat a mis en place, via la Caisse des Dépôts, un prêt bonifié éco-prêt. Il a un vrai défaut ; à savoir qu'il demande souvent des efforts énergétiques importants. Pour y répondre, soit il faut partir de bâtiments très dégradés et faire un peu de travaux, soit il faut faire des travaux qui ne sont pas forcément nécessaires sur des bâtiments qui avaient une étiquette énergétique plus satisfaisante. Le gain n'est donc pas toujours évident.

Aujourd'hui, nous faisons encore des réhabilitations plutôt traditionnelles. Nous venons d'en livrer une très récemment, sur 250 logements, avec GTM. Nous isolons certains bâtiments par l'extérieur, avec cette idée de faire baisser les consommations. Nous réfléchissons aussi sur les énergies. Ce n'est pas le sujet aujourd'hui, mais c'est tout de même une question importante. Nous avons, sur un site, une chaufferie bois que nous avons inaugurée il y a un peu plus d'un an. Comme nous avons réussi à la raccorder à un équipement public, à une école à proximité, en accord avec le Maire, nous avons une TVA à taux réduit. Ainsi, pour chauffer 200 logements, la facture énergétique a été diminuée par deux, dans une année où les conditions climatiques étaient a priori normales. Il y a donc la réhabilitation extérieure, mais il y a aussi tout un travail autour de l'énergie.

Maxime Trocmé

Quelle superficie et combien d'habitants représente le parc que vous gérez ? Dans ce que payent les locataires, avez-vous une idée de la part entre le loyer et les charges, de la part du coût de l'énergie ?

Jean-Luc Bonabeau

Nous gérons 16 000 logements sur toute la Seine-et-Marne, ce qui représente un territoire assez grand, des pistes de Roissy avec Mitry-Mory, Villeparisis jusqu'aux portes du Loiret ou de l'Yonne, avec Provins, Souppes-sur-Loing ou la Ferte-sous-Jouarre. Notre patrimoine présente un retard en termes de réhabilitation, ce qui fait que nous avons encore près de 3 000 logements à réhabiliter dans les quatre ans à venir.

Nous avons des besoins et des idées assez claires de ce que nous pouvons réaliser. Il faudrait maintenant un peu de financements. Nous essayons également de réfléchir à quelques idées originales d'engagement mutuel sur différents types de travaux. Il faut aussi laisser la part de prise de responsabilités à l'entreprise. Nous sommes en train de réfléchir à un appel d'offres où nous pourrions uniquement fixer des objectifs thermiques et laisser l'entreprise nous faire la proposition de travaux et de budget, en espérant que cela nous permette de faire baisser les coûts. Une réflexion a également été menée sur un projet plus global, avec une gestion de l'énergie sur une période, liée à la réhabilitation. Je crois que toutes ces idées sont bonnes. Elles ne s'appliquent pas non plus toujours. Il faut donc essayer de voir comment nous pouvons les mettre en avant.

Fabien Laurent, Ecole des Ponts, ParisTech

J'ai une double question d'ordre méthodologique. D'une part, comment avez-vous évalué la performance énergétique pour chacun des logements de votre parc ? D'autre part, comment sélectionnez-vous vos investissements ?

Jean-Luc Bonabeau

Nous avons fait nos bilans énergétiques plutôt de manière traditionnelle. Suivant les périodes, nos financeurs nous ont imposé plusieurs méthodes. Pour l'éco-prêt, la Caisse des Dépôts nous a demandé des diagnostics un peu différents selon la période. Nous nous adaptons. Par ailleurs, nous ne choisissons pas nos investissements uniquement selon la question thermique. Nos bâtiments ont aussi d'autres défauts, des problèmes de comportement notamment. Nos investissements sont certes portés sur le thermique parce que nous voulons baisser les consommations, mais nous avons aussi de nombreux autres travaux à faire. Nos investissements sont dirigés en premier lieu par une politique patrimoniale et un plan de patrimoine.

Camille Lachenal, SICRA

Vous avez évoqué la possibilité de faire des appels d'offres avec un objectif de performance, en laissant à l'entreprise la liberté de définir les prestations. L'avez-vous déjà fait ? Sinon, dans quel délai souhaitez-vous le faire ? Concernant la gestion de l'énergie, vous avez aussi envisagé la possibilité de faire des marchés de travaux suivis d'un marché de gestion de l'énergie. L'avez-vous déjà fait ? Sinon, dans quel délai envisagez-vous de le faire ?

Jean-Luc Bonabeau

Nous avons pris la décision de faire un appel d'offres avec un objectif de performance. Nous avons déjà choisi un site, un architecte travaille dessus et nous ferons l'appel d'offres avant la fin de l'année. S'agissant de la deuxième question, pour l'instant, elle est dans l'air, mais nous n'avons pas encore travaillé de cette manière.

Maxime Trocmé

Y a-t-il d'autres questions ?

Un intervenant

Quels sont vos critères de qualité de construction ? Comment savez-vous qu'un bâtiment est bien construit ou bien réhabilité ?

Jean-Luc Bonabeau

Nous avons un bureau d'études, un architecte et ils nous déterminent les choix.

Un intervenant

Vous mesurez l'étanchéité à l'air, vous faites une thermographie, etc.

Jean-Luc Bonabeau

Nous allons le faire bientôt sur les bâtiments BBC, mais en réhabilitation, nous ne l'avons pas fait jusqu'à maintenant.

Maxime Trocmé

Merci. Je vous remercie beaucoup, Jean-Luc, pour cette introduction. Nous avons vu que la question de la rénovation est un sujet complexe. Véronique Pillot va maintenant nous présenter l'offre de GTM Bâtiment en matière de réhabilitation.

Evolution vers la garantie de performance énergétique

Véronique Pillot, *Directrice des études de prix et commerciale, GTM Bâtiment (pôle Réhabilitation)*



Bonjour à tous. **Qu'est-ce que la réhabilitation dans l'entreprise ?** Pour nous, elle représente un chiffre d'affaires de 160 M€ sur l'année 2011 et 50 chantiers ouverts, à la fois ceux qui commencent et ceux qui se terminent. Nous rendons environ 4 000 logements par an et la taille moyenne des opérations est de 4 M€. Ce sont beaucoup de petits chantiers parce qu'il n'y a pas de réhabilitation de logements à 200 M€. La réhabilitation représente 290 collaborateurs. L'équipe étude de prix étudie 120 dossiers par an dont 80 % concernent du logement. Nous sommes 20 collaborateurs et nous avons une moyenne d'acquisition de 40 opérations par an. Telle est la carte d'identité de l'entreprise.

Quels sont les types d'appels d'offres auxquels nous répondons ? Ce sont des appels d'offres traditionnels. Nous recevons un dossier, un CCTP ; un architecte et un bureau d'études ont travaillé sur le programme défini par le client. Ces marchés sont soit globaux et forfaitaires soit à bons de commandes. Nous avons eu quelques marchés à bons de commandes chez des maîtres d'ouvrage qui voulaient plutôt traiter des prestations en prix unitaire. Le jour où ils avaient un site à déclarer en chantier, il suffisait de mettre les prix sur les quantités et il n'était plus nécessaire de relancer un appel d'offres, ce qui va plus vite. Le marché global et forfaitaire est tout de même le gros de la masse des appels d'offres auxquels nous répondons. Aujourd'hui, 75 % de ces appels d'offres ont un objectif énergétique. Je crois que le but de la fameuse étiquette C est clair. Avec l'étiquette C, le bailleur a des subventions ou des prêts à taux bonifié. C'est un vrai sujet. Atteindre le niveau BBC REHA, soit 104 kilowattheures par mètre carré par an ; est un peu moins fréquent. Enfin, la réhabilitation pour la Ville de Paris consiste à atteindre le niveau Plan Climat qui est à 80 kilowatts par mètre carré et par an. Sur les deux derniers, il y a des tests de thermographie et d'imperméabilité à l'air. Plus on baisse la consommation, plus ces parasites sont importants.



■ **Loi MOP**

- 80% de dossiers d'AO par an
- Global et forfaitaire ou à bon de commande
- 75% des dossiers ont un objectif de performance énergétique
 - Étiquette C, 150 kWh/m².an
 - BBC-Réha, 104 kWh/m².an
 - Plan climat, 80 kWh/m².an

■ **Conception-Réalisation**

- 3 à 4 dossiers d'AO par an
- Performance énergétique
- Urgence des projets

■ **CPE**

- 2 dossiers d'AO par an

Par ailleurs, nous avons quelques dossiers en conception-réalisation, soit trois à quatre dossiers par an. Le but de ces dossiers est soit l'atteinte d'une performance énergétique un peu originale, soit parce que ces projets sont urgents à mener. Des subventions avaient été données par le Gouvernement dans le cadre du plan de relance. Certains bailleurs ont initié des dossiers en conception-réalisation, ce qui a été plus vite puisqu'entre l'appel d'offres et le démarrage du chantier, il s'est passé trois ou quatre mois. En traditionnel, il faut une petite année.

Nous avons également répondu à deux CPE, Contrats de performance énergétique. Ces formats de marchés sont en conception-réalisation à engagement de performance énergétique avec la maintenance des équipements techniques énergétiques (la chaufferie). Il faut donc que cela tombe au moment où le bailleur renouvelle ses contrats de maintenance, ce qui n'est pas toujours facile à planifier.

Nous travaillons aussi sur quelques nouveaux dossiers. Je travaille depuis plus de quinze ans à la réhabilitation et je n'avais jamais vu ce type de choses. Nous sommes en train de développer un partenariat avec un bailleur en région parisienne pour travailler sur la rénovation énergétique de son patrimoine. Nous allons faire notre métier : nous allons lui apporter des idées et lui chiffrer les prestations. Nous travaillons également, à l'intérieur d'un groupe de travail, avec l'Agence parisienne du Climat, pour la rénovation énergétique des copropriétés. Les bailleurs sociaux sont les bons élèves en la matière par rapport à la moyenne, alors que le parc privé est extrêmement énergivore.

Quels sont les objectifs ? Pourquoi la rénovation énergétique ? Sans parler du Grenelle, elle permet l'obtention de subventions pour le bailleur. C'est aussi la troisième ligne de quittance. Monsieur Bonabeau n'en a pas parlé, je pense qu'il ne l'utilise pas. Pour financer les travaux de réhabilitation énergétique, certains de nos bailleurs disent à leurs locataires que les travaux qu'ils vont réaliser vont leur permettre de passer de 100 à 50 € de charges et leur proposent de réduire leurs charges de 25 €. Les locataires participent ainsi, à concurrence de 25 €, à l'effort de construction sur la réhabilitation du bâti. C'est un vrai sujet. Un engagement de performance parle directement aux locataires.

Nous devons répondre aux attentes du projet, mais nous devons aussi être économiquement efficaces. L'idée est d'essayer de ne pas être cher. Nous travaillons, de façon assez régulière, sur les projets où il y a vraiment un engagement énergétique ou une performance à atteindre, sur le label de performance énergétique qui s'appelle « Oxygen » et qui est une proposition de Vinci Construction France. Nous nous en servons comme appui technique parce que toute la VRD de VCF est derrière nous pour faire les simulations thermiques dynamiques, pour nous aider dans les décisions que nous avons à prendre sur les matériaux à employer dans la réhabilitation. C'est pour nous aussi une nouvelle façon de travailler.

Parmi tous les sujets que nous étudions, nous en avons gagnés quelques-uns. Le premier que je vous présente ici était dans le cadre d'une conception-réalisation, à **Vitry-sur-Seine, dans le quartier des Montagnards**. Le chantier est quasiment terminé, je crois que monsieur Huchon doit l'inaugurer la semaine prochaine.

Le niveau énergétique n'était pas forcément requis. Dans le budget que le client pouvait octroyer à cette opération, nous nous sommes aperçus que nous arrivions assez facilement à un niveau BBC. Nous avons donc déposé un dossier à l'ADEME. Nous sommes tombés à l'époque où l'ADEME donnait des subventions. Le maître d'ouvrage a ainsi touché 400 000 € de subventions, ce qui est toujours bienvenu.

Vitry-sur-Seine
Les Montagnards
425 logements
Niveau BBC
Financement de l'ADEME



Cette opération vaut 8 ou 9 M€, mais il faut savoir que l'on ne fait pas que de la rénovation énergétique. Lorsqu'on réhabilite un bâtiment, la plupart du temps, on en profite pour intervenir dans les logements et souvent, les travaux sont assez lourds dans les logements (les mises aux normes électriques, les changements d'appareils sanitaires, l'amiante, etc.).



Saint Gratien
Les Raguenets
725 logements

Étiquette C
Qualification Cerqual

Vous voyez ensuite l'opération d'un autre maître d'ouvrage qui a lancé un **appel d'offres traditionnel, loi MOP**, pour 725 logements. L'objectif est l'étiquette C qui permet d'obtenir des prêts bonifiés et la certification Cerqual « Patrimoine et Environnement ». Ce projet prévoyait une isolation par l'extérieur et la réhabilitation intérieure des logements.

Vous voyez ensuite **un projet pour la Ville de Paris** qui répond donc au Plan Climat, soit 80 kilowatts, sur cette belle barre de 80 logements. De part et d'autre, nous construisons 36 logements qui sont aussi au niveau Plan Climat. Dans le logement neuf, le niveau Plan Climat est à 50 kilowatts.



Paris - Porte de Saint Ouen
80 logements réhabilités
et 36 logements neufs

Plan Climat de la Ville de Paris

Je vous ai présenté ensuite **la réhabilitation d'un foyer-logement à Guyancourt** de 190 studios autonomes, avec une kitchenette et une douche. L'objectif était double. Le maître d'ouvrage voulait être au niveau du Plan Climat de Paris, soit 80 kilowatts. Certaines



Guyancourt
190 chambres

Niveau Plan Climat de la Ville de Paris

chambres avaient la douche et les WC sur le palier, il voulait en faire des chambres autonomes. Il fallait donc agrandir les chambres, mais le terrain était non constructible. Nous avons donc agrandi les chambres en diminuant le nombre de chambres. Ce projet coûte 9 M€ et vous comprenez bien que ce prix n'est pas seulement celui du traitement énergétique puisqu'à l'intérieur, nous avons tout mis à plat. Il s'agit

en plus d'une opération tiroir. Tous les dossiers que je vous ai montrés auparavant étaient en site occupé. Souvent, en région parisienne, on ne peut pas déménager les habitants parce que l'offre de logements n'est pas suffisamment importante. En foyer, les choses peuvent se

passer différemment. On peut le vider par quart. On refait à neuf un quart du bâtiment, puis un deuxième quart, etc. C'est donc une opération tiroir en site occupé. Dans ce chantier, il y a un gros problème d'amiante. Il y a de l'amiante sur tous les ragréages de murs et de plafonds, ce qui représente un coût.

Vous voyez ensuite l'un des **CPE auxquels nous avons participé l'année dernière**. C'est d'ailleurs à cette occasion que j'ai rencontré Maxime. C'est une petite opération de 69 logements. Nous l'avons gagnée. Nous arrivions au niveau BBC et nous proposons 50 % d'économies d'énergie au maître d'ouvrage. Nous avons commencé par lui proposer 30 %. Il ne voulait pas changer les fenêtres, etc. Il n'avait pas un gros budget, nous y sommes donc allés tout doucement.



Il nous a expliqué que son opération n'était pas réalisable financièrement si nous ne lui proposons pas au moins 50 % d'économies. Nous sommes donc allés un peu plus loin, nous avons changé les fenêtres, nous avons mis des capteurs et nous avons ainsi proposé 50 % d'économies d'énergie. C'est un joli petit sujet, mais nous avons rencontré une difficulté. Le maître d'ouvrage doit faire voter ses locataires sur l'acceptation des travaux et ils ont voté contre. C'est assez curieux parce qu'au final, ils avaient une économie d'énergie. Le bailleur avait vraiment privilégié l'enveloppe et il ne faisait rien dans les logements. Quand on intervient sur des bâtiments, il faut penser aussi à réhabiliter l'intérieur. Les locataires sont dans une incompréhension totale si on ne fait que les parties communes et qu'ils ne voient pas concrètement un lavabo neuf, une baignoire neuve, une électricité neuve. C'est un vrai enjeu. En logement social, on ne peut pas imaginer intervenir sur un bâtiment et ne faire que des travaux d'enveloppe. Si le chantier est soumis au vote des locataires, la plupart du temps, ils refusent.

Quels sont les enjeux que nous avons rencontrés ? Il faut bien appréhender le niveau de faisabilité du maître d'ouvrage. Il faut vérifier la fiabilité des états initiaux calculés par les logiciels thermiques. Nous avons eu de grands débats, notamment sur Rungis, avec le maître d'ouvrage, parce que nous ne partions pas du même état initial. Lui partait d'un état initial calculé en THCEX à 300 kWh/m² et nous étions à 220-230. Nous ne nous comprenions pas, nous n'avions pas la même économie. Les mêmes données n'avaient simplement pas été mises à l'entrée du logiciel. J'ai déjà vu des calculs THCEX faux. C'est un vrai sujet qui porte à débat et qui conduit à une incompréhension avec le maître d'ouvrage.

Dans le cadre d'un CPE, on se demande comment les choses vont se passer avec les occupants. Nous pensions mettre des instruments de mesure dans les 69 logements de Rungis, non pas pour espionner les locataires, mais pour qu'ils soient conscients de leur consommation au plus près de la réalité. Le deuxième CPE portait sur un projet de 240 logements. Nous avons proposé un accompagnement physique des locataires. Nous avons fait appel à une association pilotée par l'ADEME pour que des personnes viennent chez les

locataires après les travaux afin de leur expliquer, en dehors du livret de bonne utilisation du logement que nous laissons à la fin des travaux, comment étaient composées leurs charges et ce qu'ils pouvaient faire pour les influencer à la baisse. Une fois que les charges de chauffage et d'eau chaude ont été baissées, curieusement, certaines comme l'électricité deviennent très importantes et la proportion s'inverse. Merci pour votre attention.

Maxime Trocmé

Je vous propose de grouper les questions à la fin de la deuxième intervention. Je vais demander à Olfa de venir présenter ses travaux qui répondent à ces différentes questions. Merci beaucoup Véronique pour cette présentation très claire.

Olfa Meri, *post-doctorante à l'Ecole des Mines ParisTech*

Evoluer vers la garantie de performance énergétique

Olfa MEJRI
Bruno PEUPORTIER

Le 12 juin 2012

1

Bonjour à tous. Je fais un post-doctorat au Centre énergétique Procédés à l'Ecole des Mines ParisTech, avec l'équipe Eco-conception thermique des bâtiments dirigée par monsieur Bruno Peuportier. Je vais vous présenter aujourd'hui une partie de nos travaux de recherche qui portent essentiellement sur la grande question : **comment évaluer vers la garantie de performance énergétique dans un bâtiment ?** Véronique Pillot a parlé des différentes méthodes. Je vais vous montrer comment la méthode utilisée pour le calcul énergétique peut avoir une influence sur les choix d'amélioration des performances énergétiques. Je vais présenter rapidement les objectifs de nos études, puis la méthodologie que nous avons adoptée et qui concerne essentiellement deux parties. La première partie porte sur le diagnostic énergétique, la seconde consiste à répondre à l'évolution vers la garantie de performance énergétique. Je vais vous présenter également quelques résultats et je finirai par quelques perspectives de nos travaux de recherche.

Objectifs de l'étude

Les étapes clés pour évoluer vers la garantie de performance énergétique

- 1 Faire l'état des lieux du bâtiment existant et étudier des améliorations (Diagnostic)
- 2 Réaliser les améliorations (Réhabilitation)
- 3 Mesurer la performance après travaux (Vérification)
- 4 Expliquer les éventuels écarts entre la performance prévue et les factures
- 5 Partager la responsabilité entre les différents acteurs (concepteurs, exploitants, occupants,...)

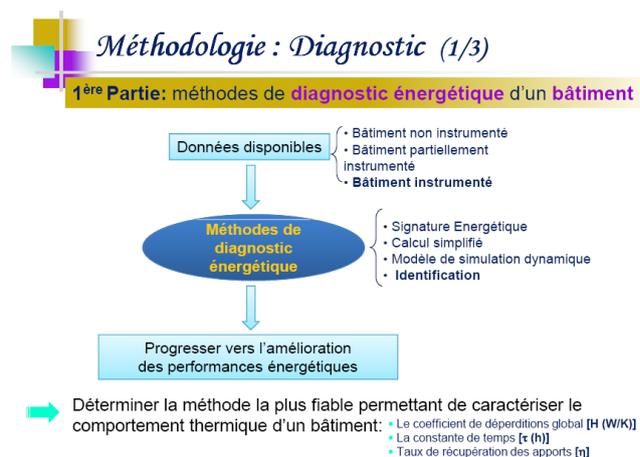
3

Afin d'évoluer vers la garantie de performance énergétique d'un bâtiment, les étapes clés commencent toujours par faire un état des lieux du bâtiment existant, ce qui consiste à faire le diagnostic énergétique. Par la suite, il faut réaliser les améliorations. C'est l'étape de réhabilitation. Il ne faut pas s'arrêter à cette étape, il faut poursuivre les améliorations, vérifier les mesures de performance après les travaux de réhabilitation,

ce qui revient à expliquer les éventuels écarts entre les performances prévues et les factures de consommations réelles.

A la fin, il serait bien sûr très intéressant de pouvoir partager la responsabilité entre les différents acteurs, concepteur, exploitant et occupants. Comment les occupants se comportent-ils en termes d'ouvertures et de fermetures des fenêtres, etc. ?

Je passe à la méthodologie de notre travail. La première partie concerne les diagnostics énergétiques. Une réhabilitation peut répondre à l'un de ces trois cas. Soit le bâtiment est non instrumenté, soit il est partiellement instrumenté, soit il est fortement instrumenté.



En partant des données disponibles sur le bâtiment à réhabiliter, nous avons essayé d'exploiter les différentes méthodes de diagnostic énergétique qui se résument entre la signature énergétique, les calculs simplifiés tels que ceux donnés par la réglementation thermique, le modèle dynamique de simulation ou les méthodes inverses et l'identification, ceci pour arriver à progresser vers l'amélioration des performances énergétiques.

Notre objectif principal est de pouvoir déterminer la méthode la plus fiable en termes de caractérisation de

comportements thermiques du bâtiment. Cette méthode va nous permettre de dégager les paramètres qui reflètent le comportement thermique du bâtiment et qui sont notamment le coefficient de déperdition globale, la constance du temps qui reflète l'inertie thermique, le taux de récupération des apports. Ce sont les paramètres les plus essentiels que nous suivons, mais il y en a d'autres.

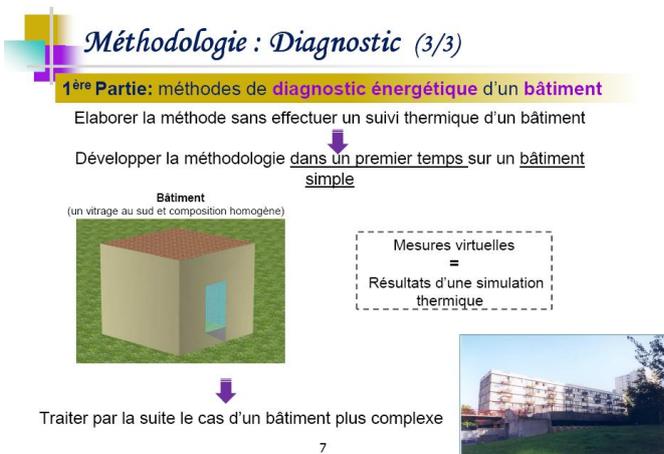
Nous avons étudié également les différents scénarios possibles. Le premier scénario est d'avoir uniquement des factures de consommations annuelles. Le second scénario est d'avoir des factures de consommations énergétiques mensuelles. Le troisième scénario est d'avoir un suivi thermique, c'est-à-dire d'avoir quelques capteurs dans le bâtiment afin de suivre sa dépense thermique. Le quatrième scénario consiste à avoir un suivi thermique avec des mesures plus spécifiques.



- Scénario 1 : **factures** de consommations énergétiques **annuelles**
- Scénario 2 : **factures** de consommations énergétiques **mensuelles**
- Scénario 3 : **suivi thermique** du bâtiment (Tint et consommations)
- Scénario 4 : scénario 3 & **mesures spécifiques**

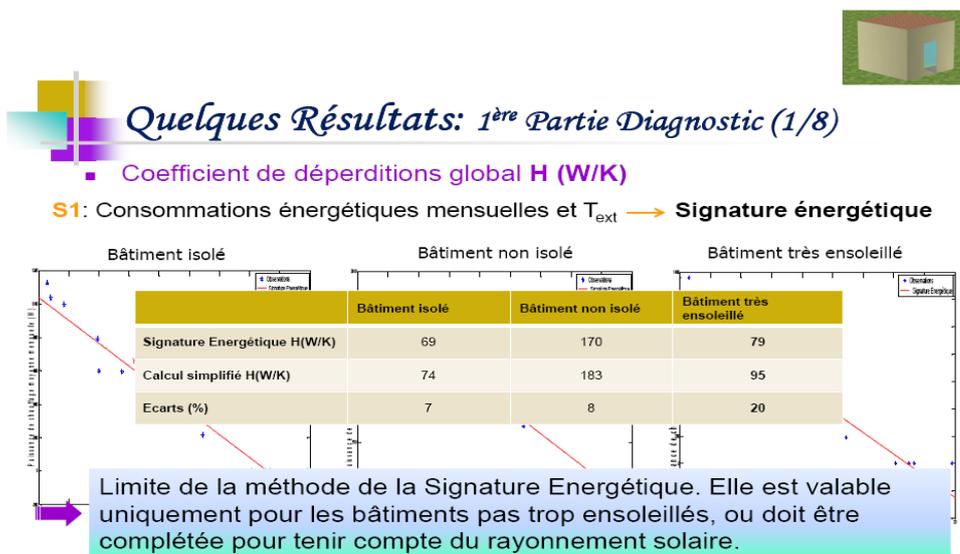
Partant de ces scénarios, nous avons essayé d'élaborer la méthode, sans effectuer un suivi thermique qui peut être au début, pour nos recherches, un peu plus coûteux. Dans un premier temps, nous avons donc essayé de développer notre méthode sur un bâtiment simple et virtuel

que nous avons créé. C'est un bâtiment qui a un vitrage au sud et dont la composition est bien connue et homogène. Les mesures virtuelles sont le résultat des simulations du logiciel COMFIE. Par la suite, nous avons bien sûr traité le cas d'un bâtiment plus complexe.

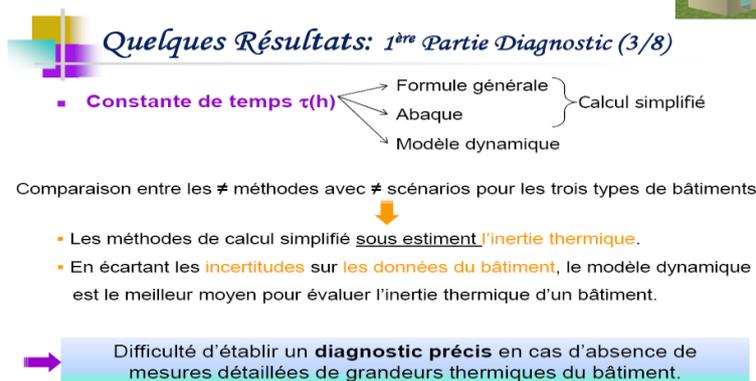


Une fois que le diagnostic énergétique est réalisé, l'état des lieux est toujours entaché d'erreurs qui proviennent surtout du manque de connaissances sur le bâtiment en termes de matériaux de construction, du manque de détails sur le bâtiment et du manque de mesures de son comportement. Il s'avère important de faire une étude paramétrique qui va nous permettre de déterminer quels paramètres doivent être identifiés ou mesurés en priorité, ce qui fera l'objet de la seconde partie de nos recherches.

Je vais vous présenter quelques résultats concernant le premier bâtiment. Comment peut-on déterminer le **coefficient global de déperdition** ? Si on dispose de consommations énergétiques mensuelles et de la température extérieure récupérée de la station météo la plus proche du bâtiment à étudier, on peut appliquer la méthode de la signature énergétique. Pour cette méthode, nous avons identifié les différents cas possibles de bâtiments, soit un bâtiment isolé, soit un bâtiment non isolé, soit un bâtiment très ensoleillé où il y a beaucoup de vitrages côté sud. Pour ces trois cas, nous avons comparé les résultats donnés par la signature énergétique avec les calculs simplifiés fournis par la réglementation thermique. Nous avons remarqué qu'il y avait un écart, surtout pour le cas du bâtiment très ensoleillé. Ceci nous amène à la conclusion de la limite de la méthode de signature énergétique pour le cas d'un bâtiment très ensoleillé ou il faut l'appliquer en tenant compte du rayonnement solaire.



Le second coefficient permettant de diagnostiquer énergétiquement le bâtiment est le taux de récupération des apports. Je ne vais pas rentrer dans le détail des équations. Ce sont simplement les méthodes que nous avons utilisées. C'est un peu compliqué. Nous avons comparé les différentes méthodes pour les différents scénarios que je vous ai présentés tout à l'heure et pour les trois cas de bâtiments. Nous avons remarqué qu'une légère variation dans la valeur du coefficient de déperdition a une très grande influence sur la valeur du taux de récupération des apports et parfois, nous obtenons des valeurs non physiques. Les méthodes de calcul simplifiées sont donc à écarter pour le calcul du taux de récupération des apports.



Pour la **constance du temps** qui reflète l'inertie thermique du bâtiment, nous avons également testé les différentes méthodes qui permettent de calculer ce coefficient. Notre conclusion est que les méthodes de

calcul simplifiées sous-estiment, dans la majorité des cas, l'inertie thermique du bâtiment. Si on suppose que l'on connaît très bien le bâtiment en termes de matériaux de construction, ainsi que les différents coefficients thermiques des matériaux de construction, etc. on peut dire que le modèle dynamique est le meilleur moyen pour évaluer l'inertie thermique. Il est un peu difficile d'établir un diagnostic précis en cas d'absence de mesures détaillées ou de grandeur thermique du bâtiment. Cela nous a donc amenés à étudier la méthode d'identification qui consiste à partir des mesures sur le bâtiment. Ce sont les mesures virtuelles, les données de simulation. Nous avons réussi à identifier un modèle qui reproduit convenablement le comportement thermique du bâtiment. Apparaissent en rouge les mesures dans le bâtiment et en bleu apparaît le modèle que nous avons identifié. Nous montrons ici que le modèle identifié arrive à nous donner un diagnostic énergétique qui peut s'avérer de bonne qualité, sauf pour le coefficient de vitrage. Ainsi, nous envisageons d'approfondir la démarche basée sur la méthode inverse dans les travaux à venir.

Quelques Résultats: 1^{ère} Partie Diagnostic (5/8)



■ **Bâtiment HLM Montreuil**

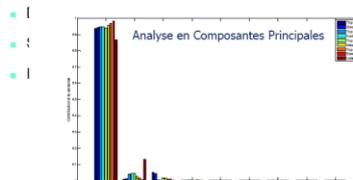
- Construction : 1969, non isolé, simple vitrage
- Besoins de chauffage : 160 kWh/m²/an

Vous est présenté ici le cas d'un **bâtiment HLM à Montreuil**, construit en 1969. C'est un bâtiment non isolé, avec un simple vitrage et dont le besoin en chauffage est de 160 kilowattheures par mètre carré et par an. Nous avons essayé d'appliquer les quelques méthodes sur ce bâtiment plus complexe.

Le bâtiment HLM est très grand en termes de surface et en termes de nombre de pièces. Nous avons donc choisi d'appliquer un outil statistique un peu plus sophistiqué. Il permet de réduire le nombre de zones thermiques à étudier pour

Quelques Résultats: 1^{ère} Partie Diagnostic (6/8)

■ **Bâtiment HLM Montreuil : Nombre de zones thermiques**



➔ **Deux zones thermiques:** 1) Zone chauffée
2) Zone non chauffée

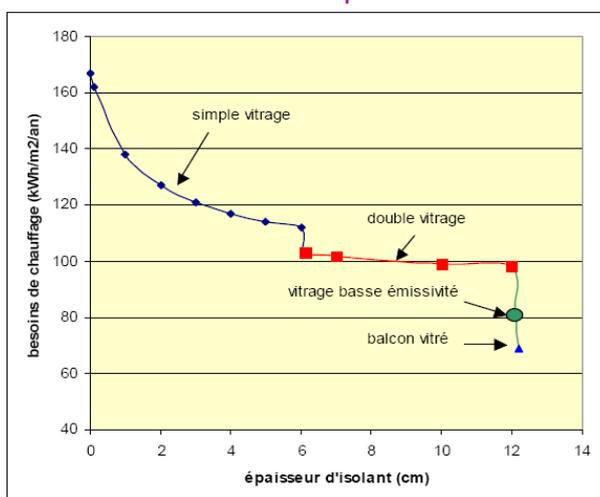
faciliter l'étude énergétique de ce type de bâtiments. Nous avons également appliqué la méthode des signatures énergétiques et bien sûr l'identification du modèle.

Concernant le nombre de zones thermiques, je vous présente rapidement dans ce graphe l'analyse en composantes principales. En fait, cela représente la contribution à la variance des différents signaux que sont les températures à l'intérieur des différentes pièces de ce bâtiment HLM. Cette technique permet de rassembler les informations. On voit que la première composante principale, pour la majorité des températures intérieures, peut nous garantir 90 % de l'information. Seule la zone non chauffée se détache des autres zones. Ainsi, ce bâtiment peut être simulé en termes de deux zones thermiques : une zone chauffée et une autre non chauffée.

Je passe à la signature énergétique pour ce bâtiment. Nous l'avons appliquée à partir des données horaires, des données journalières et des données mensuelles. Nous avons pu déterminer le coefficient de déperdition qui est proche dans les trois cas de signatures. Pour ce type de bâtiment, en supposant avoir des mesures, nous pouvons dire que la signature énergétique est satisfaisante vu que pour les trois cas, les valeurs sont très proches.

Je passe maintenant à l'identification du modèle. Grâce à la méthode inverse, nous avons également réussi à reproduire convenablement le comportement thermique de ce bâtiment complexe. Les deux graphes représentent les températures à l'intérieur, dans la zone chauffée et dans la zone non chauffée, une comparaison entre ce qui est supposé être mesuré en vert et en bleu ce qui est supposé être l'identification. Cette identification nous a permis également de déterminer les différents coefficients permettant de diagnostiquer le bâtiment. Telles sont les différentes méthodes que nous avons exploitées et les quelques conclusions.

■ Résultats de l'étude thermique

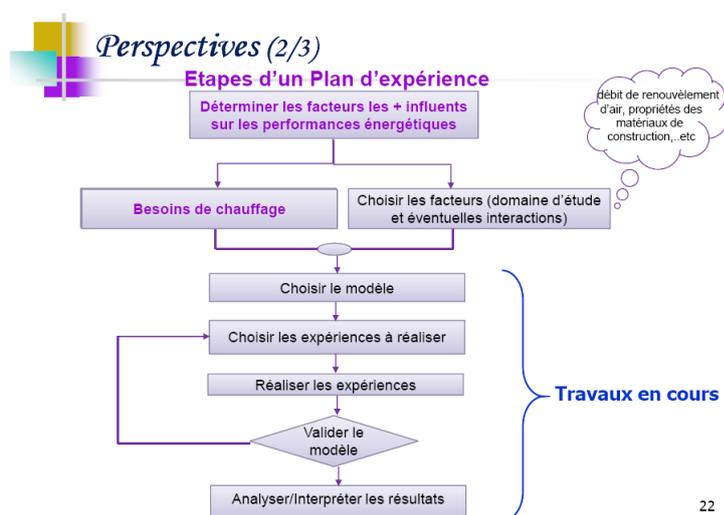


Pour ce bâtiment HLM, une étude thermique a été réalisée dans l'objectif d'effectuer des travaux de réhabilitation. L'étude thermique a été effectuée par monsieur Bruno Peuportier. L'étude a été faite en variant l'épaisseur de l'isolant et en testant les différents cas avec simple vitrage et double vitrage. Dans le cadre d'un projet européen, ils ont testé également le cas d'un vitrage à basse émissivité et le cas d'un balcon vitré.

Je voulais surtout vous montrer qu'après rénovation, l'objectif était une réduction de la consommation énergétique de 50 %, alors que réellement, la consommation énergétique n'a été réduite que de 32 %. En effectuant la vérification, il s'est avéré que la température à l'intérieur du logement était de 23 degrés au lieu de 20 degrés. Des actions correctives sont

donc en cours, réalisées par l'office d'HLM. Elles consistent à régler au mieux la chaufferie afin d'avoir une température convenable à l'intérieur des bâtiments.

Comment expliquer l'écart entre la valeur de la réduction de la consommation prévue avant réhabilitation et après réhabilitation ? Cette question nous amène à nos études en perspective. Nous cherchons à trouver des réponses. Cet écart provient-il des outils de calcul, de la valeur du coefficient de performance d'une pompe à chaleur par exemple ? Est-ce la mise en œuvre liée aux travaux, comme les infiltrations dans le bâtiment ? Est-ce la différence de climat par rapport à l'année type ? Est-ce le comportement des occupants en termes d'ouvertures et de fermetures des fenêtres par exemple ? Est-ce que ce sont les mesures que nous avons effectuées (les capteurs, etc.) ? Pour pouvoir trouver une réponse à ces questions, nous proposons d'étudier l'impact des incertitudes sur l'évaluation des performances énergétiques. Pour ce faire, nous avons choisi la méthode d'analyse de sensibilité. Dans un premier temps, nous avons choisi d'appliquer le plan d'expérience qui est l'une des méthodes d'analyse de sensibilité.



Je vous présente rapidement les étapes d'un plan d'expérience. Notre objectif d'étude est de déterminer les facteurs les plus influents sur les performances énergétiques. Il faut définir la réponse du système. Pour nous, il s'agit des besoins de chauffage. Il faut ensuite choisir les différents facteurs que sont les paramètres qui interviennent dans la simulation, tels que le débit de renouvellement d'air par exemple ou les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction, etc.

22

Il faut ensuite choisir le modèle, choisir l'expérience à réaliser, réaliser les expériences, valider le modèle. S'il est bon, nous interprétons les résultats. S'il n'est pas bon, nous revenons au retour d'expérience. Tels sont les travaux en cours.

Toujours en perspective, pour résumer tout ce que je viens de vous présenter, notre objectif est de savoir quel est l'ordre de grandeur de l'erreur sur les économies réalisées en fonction d'incertitudes sur les paramètres. Nous allons tester également la possibilité de coupler un outil d'analyse de sensibilité, Open Turns avec COMFIE. Nous allons essayer de répondre à cette question : peut-on affiner le protocole disponible pour réduire les incertitudes ? Un sujet test va démarrer bientôt avec Vinci. Il portera peut-être sur la méthode inverse qui sera bientôt approfondie. Nous souhaitons arriver à articuler les rôles du constructeur en termes de garanties de performance intrinsèque et de l'explorateur en termes de maintien de la performance dans la durée. Je vous remercie pour votre attention.

Maxime Trocmé

Merci beaucoup Olfa. Nous pouvons peut-être entendre une réaction de Véronique qui nous avait soumis ces différentes questions.

Véronique Pilot

Je voulais revenir sur l'écart entre 50 % et 30 % de l'engagement de performance. Il y a certainement l'écart entre la consommation réelle et l'engagement de performance. Quand nous avons travaillé sur notre CPE, nous avons constaté la lourde influence d'un degré supplémentaire dans un logement par rapport aux températures conventionnelles qui sont dans les modules de calculs. Un logement à 19 degrés est extrêmement rare. La plupart du temps, la température est de 20 ou 21 degrés. C'est pourquoi nous ne nous étions engagés qu'à 30 % au départ. L'écart tenait manifestement à ce problème de température. Cela peut faire basculer un engagement.

Olfa Meri

Parfois, c'est l'exigence de l'occupant.

Véronique Pilot

Il y a différents types d'occupants. Certains partent la journée et rentrent le soir. Dans la journée, la température peut être surbaissée. Par contre, pour les personnes âgées ou les jeunes enfants, il est difficile de rester toute la journée à la maison à 19 degrés. Il est illusoire de se dire qu'un logement fonctionne avec les températures conventionnelles d'un module de calculs.

Maxime Trocmé

Y a-t-il d'autres questions ou réactions sur cette présentation ?

Un intervenant

J'ai une question pour Olfa Meri concernant les méthodologies qui ont été développées. C'est très intéressant et c'est un sujet auquel je m'intéresse aussi. Les questions portaient sur la méthode de gestion des incertitudes, de contrôle du risque et de détermination de la performance énergétique. Il existe des protocoles, notamment aux Etats-Unis, qui font ce travail d'étude de sensibilité, de caractérisation de la performance. Au lieu de dire que la consommation va baisser de 40 %, il s'agit de dire que le bâtiment aura une performance de 40 % supérieure sous telles et telles conditions et de donner la méthodologie pour ajuster ou pas, en fonction des températures ou des conditions d'utilisation et pour garantir avoir respecté ou pas le CPE. Je pense notamment à l'IPMVP. Je ne sais pas si vous avez regardé ce sujet.

Olfa Meri

Nous sommes en train de faire ce que vous venez de dire. Cette étude un peu plus poussée d'analyse de sensibilité sur les différents paramètres qui interviennent dans le modèle thermique permet de garantir à la fin une telle performance énergétique, avec un pourcentage. Il s'agit de limiter cet écart et de le prévoir dès le début.

Bruno Peuportier

Nous avons commencé par regarder l'état de l'art de ce qui se fait, mais l'IPMVP reste très vague. Il y a plusieurs options possibles. En fait, l'idée est de rechercher le protocole de mesure et de vérification le moins coûteux pour arriver à la garantie la plus précise. Tel est un peu le sujet de recherche pour avancer et progresser dans la connaissance sur ces sujets. Nous voulons si possible aller jusqu'à une garantie sur la consommation parce que telle est la

demande du client, mais en expliquant les écarts liés au climat, liés aux comportements et liés aux différentes perturbations qui peuvent exister. S'il faut dépenser beaucoup d'argent pour rechercher ces causes d'écart, finalement, cette garantie perd de son intérêt parce qu'elle est très coûteuse en termes de vérifications. Il faut donc trouver le bon niveau de compromis entre les mesures que nous sommes prêts à payer sur le bâtiment et qui coûtent cher et les réductions d'incertitudes que l'on gagne sur les consommations.

Un intervenant

J'ai une question pour GTM concernant les CPE. Dans le cadre des CPE, vous n'avez qu'un seul marché de conception-réalisation-maintenance. Si vous n'atteignez pas les résultats que vous avez annoncés, peut-on considérer que l'immeuble que vous livrez est impropre à sa destination ?

Véronique Pillot

Nous avons des pénalités.

Un intervenant

Est-ce que le maître d'ouvrage peut refuser la livraison ?

Véronique Pillot

Je ne pense pas. Le fait de ne pas atteindre la performance requise sur laquelle nous nous sommes engagés est géré par des pénalités de non-obtention.

Un intervenant

Des pénalités libératoires ?

Véronique Pillot

Sur Rungis, les pénalités avaient pour but de dédommager le maître d'ouvrage du surcoût d'investissements qu'il avait fait pour avoir un CPE. Les pénalités étaient certes libératoires, mais elles étaient lourdes.

Maxime Trocmé

Y a-t-il une dernière question avant de passer à la suite ?

Fabien Leurent

J'ai une question sur les coûts pour madame Pillot. Sur les quelques opérations que vous avez mentionnées, j'ai retenu que l'ordre de grandeur de l'investissement de réhabilitation par logement pouvait s'élever à 20 000 ou 40 000 €.

Véronique Pillot

Oui, telle est la fourchette d'une réhabilitation. A 20 000 €, on peut être BBC, mais on fait très peu de choses dans les logements. Dans les traitements d'enveloppes de bâtiments, il y a de l'enduit mince sur isolant, il y a du bardage. L'isolation par l'extérieur est d'un peu moins de 10 000 € par logement. Changer les menuiseries extérieures est de l'ordre de 5 000 €, avec des occultations. Ensuite, il faut finir la boîte, faire les terrasses et l'isolation en sous-face des logements. Avec 20 000 €, on peut faire de l'énergétique, mais on ne fait quasiment que cela. Les fourchettes vont de 20 000 à 40 000 € parce que la plupart du temps, nous traitons aussi beaucoup de choses à l'intérieur des logements. C'est pourquoi il est difficile de faire de l'énergétique pour un coût de 20 000 €, en tout cas en logement social. En copropriété, je pense que le raisonnement est différent. Le copropriétaire regarde ce qu'il dépense au coup par coup. En logement social, il faut vraiment intervenir dans le logement, chez le locataire.

C'est pénible de vivre une réhabilitation en site occupé, mais il y a une vraie amélioration à la fin.

Fabien Laurent

Quel est le temps de retour sur investissement, alors ?

Jean-Luc Bonabeau

En fait, il n'y en a pas puisque nous finançons tout et toute l'économie va en direction des locataires. Il y a évidemment un retour sur investissement, mais non pas pour le bailleur. Les économies sont redonnées aux locataires. Véronique Pillot a évoqué la troisième ligne de quittance. Pour ma part, je pense que cette idée est intéressante, mais qu'elle a un petit défaut. Je souhaite bon courage à ceux qui dans quinze ans, iront expliquer aux locataires qu'ils payent 50 € sur leur quittance pour des économies d'énergie qui n'existent plus parce que le prix des énergies aura augmenté. Je suis un peu septique quant à cette ligne de quittance. Au départ, le locataire a tout compris, mais quinze ans plus tard, les soirées peuvent être longues pour expliquer tout cela.

Maxime Trocmé

Merci beaucoup. Nous avons vu que la démarche était déjà compliquée à l'échelle d'un bâtiment, mais qu'il y a des réponses. Nous allons voir qu'elle est encore plus compliquée à l'échelle d'un parc, mais qu'il y a également des réponses. Je vais laisser la parole à David Ernest de chez Vinci Facilities qui suit les travaux de Mathieu dans le cadre de son groupe miroir et qui va nous poser ses réflexions à l'échelle du parc.

Optimiser les programmes à l'échelle d'un parc de bâtiments

David Ernest, *Directeur du centre d'expertises, Vinci Facilities*



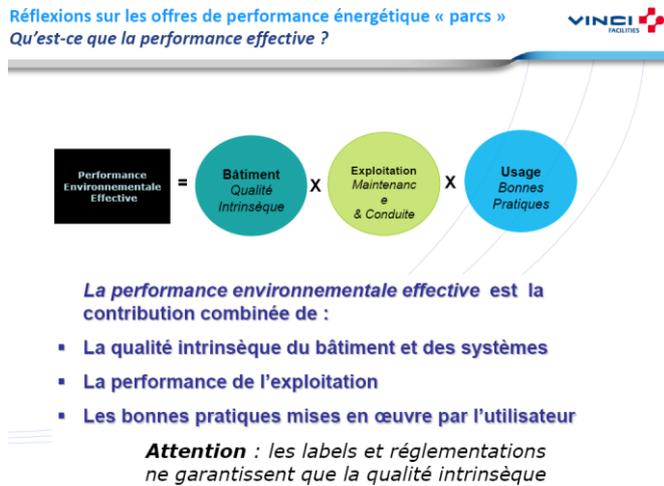
VINCI Facilities Réflexions sur les offres de performance énergétique pour les « parcs » 12 Juin 2012



Bonjour. Vinci Facilities est une nouvelle entité de Vinci qui fait de la gestion multi-technique, multiservice et du facilities management. Ce sont 8 000 salariés pour 1,2 Md€ de chiffre d'affaires, implantés dans une vingtaine de pays. Qui sont nos clients ? **Il y a les propriétaires qui ont des attentes particulières**, notamment sur la prise en compte des exigences réglementaires du Grenelle, le fameux moins 38 % que l'on doit faire ici en 2020. Ils commencent à s'intéresser aux demandes de leurs propres clients, c'est-à-dire de leurs locataires, sur le bâtiment durable, le bâtiment vert. Puis, ils s'intéressent surtout à la valeur de leur bien, à la fameuse « green value », à la valeur de l'actif. Je parle de propriétaires de bâtiments plutôt dans le tertiaire. A ce stade, les investisseurs dans le tertiaire ne s'intéressent pas encore beaucoup aux charges parce qu'elles sont refacturées directement aux locataires, ce qui est assez transparent pour eux. Le coût énergétique d'un bâtiment n'est pas encore un frein. Le coût de l'énergie est d'une vingtaine d'euros par mètre carré. Sur une charge globale de 600, 700 ou 800 €, ce coût est relativement négligeable. Diviser par deux la consommation d'énergie ne fait pas gagner grand-chose sur le coût global d'occupation. Pour l'instant, ce n'est donc pas une attente forte des propriétaires, sauf sur le sujet green value. Est-ce que demain, mon bien ne va pas perdre en valeur du fait de l'obsolescence thermique ?

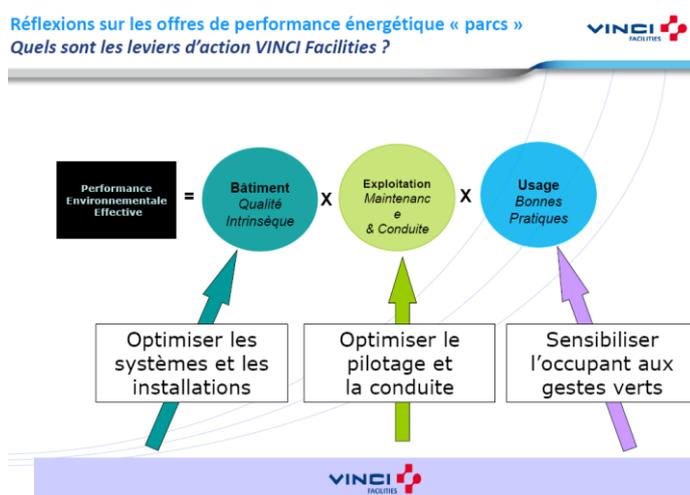
Il y a un deuxième type de clients qui sont les utilisateurs, c'est-à-dire les locataires de bâtiments. Eux s'intéressent au coût parce que ce sont bien eux qui payent, soit au titre des charges des parties communes, soit au titre des charges privatives. Ils veulent compter en euros. Les plus avancés s'intéressent aussi à la RSE. Je dois publier mon reporting environnemental, comme tous les grands Groupes. Je dois donc sortir des données qui sont à peu près irréfutables et performantes sur le volet environnemental. J'insiste sur le fait que

l'utilisateur s'intéresse à la performance effective du bâtiment et au résultat réel mesuré et non pas calculé.



Pour illustrer cela, j'ai un petit schéma. J'appelle cela **la performance effective**. C'est le réel du réel. C'est le résultat de l'effet combiné de plusieurs choses, bien sûr de la qualité intrinsèque du bâtiment, mais aussi d'autres facteurs comme la performance de l'exploitation. Comment l'opérateur technique gère son bâtiment pour tirer le maximum du potentiel du bâti ?

Puis, il y a l'utilisateur. On s'attache beaucoup à la qualité intrinsèque du bâtiment (les travaux, les labels BBC, la réglementation), mais on ne parle quasiment jamais des deux autres contributeurs de la performance, c'est-à-dire l'exploitation et l'usage. Dans certains cas, ces deux sphères de l'exploitation et de l'usage ne sont même pas considérées comme une variable. Elles sont figées et on n'en parle plus. On ne parle que de la qualité intrinsèque. On constate alors des écarts entre ce qui était prévu, c'est-à-dire la qualité intrinsèque, et la réalité. Ce n'est pas un écart. On parle en fait de deux choses complètement différentes. La performance effective a forcément un lien avec la qualité intrinsèque du bâtiment, mais elle n'est pas déduite directement de cette qualité intrinsèque puisqu'il y a le facteur exploitation et le facteur usage. Les labels, les réglementations, etc. ne garantissent que la qualité intrinsèque et ne traitent jamais de la performance réelle. On commence à en parler dans les CPE, mais aujourd'hui, sur le plan de l'ingénierie technique, on en est au début.

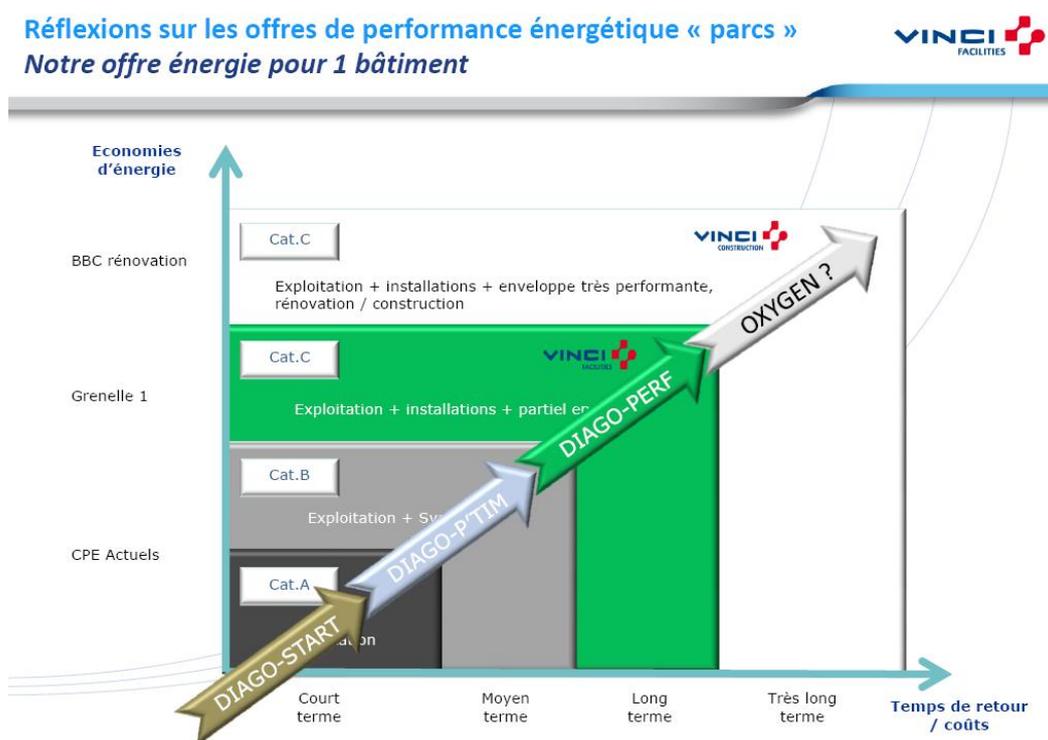


Que peut faire Vinci Facilities sur le sujet ? Nos clients regardent la facture au réel. Nous ne faisons pas de travaux de réhabilitation. Nous pourrions en faire avec d'autres entités de Vinci, mais nous intervenons sur les trois sphères qui contribuent à la performance réelle du bâtiment. La première est d'optimiser les systèmes et les installations, mais nous ne touchons pas à l'enveloppe.

Si nous devons nous engager sur la performance et le retour sur investissement, il faut que cela se cale dans la durée de notre contrat. Nous avons des contrats relativement courts. Le levier sur la qualité intrinsèque est lié aussi à la durée du contrat que nous avons avec le client. Nous pouvons bien sûr agir également sur l'optimisation du pilotage et de la conduite des installations et du bâtiment, ce qui est notre cœur de métier.

Nous devons normalement être très bons en la matière et nous nous dotons d'outils pour le faire. Enfin, nous commençons à travailler sur l'usage. Nous avons plusieurs expérimentations sur le sujet et nous le développons. Il s'agit de sensibiliser l'occupant aux bonnes pratiques d'utilisation du bâtiment. Cela peut se faire via des « écolos quizz » que l'on donne à nos clients pour qu'ils puissent sensibiliser leurs salariés. Cela pourra être demain l'affichage des consommations en temps réel dans les halls d'immeubles pour que chaque salarié puisse voir quel est le résultat de son action sur les consommations.

En ce qui concerne **notre offre Énergie**, pour un bâtiment, nous avons deux axes : la consommation au mètre carré et le coût de l'énergie, c'est-à-dire les euros par mégawattheure. Nous allons partir du cas idéal. Le spécialiste de la bonne gestion énergétique aura bien maîtrisé son achat d'énergie et son kilowattheure par mètre carré. Il est au taquet et nous ne pouvons pas tellement faire mieux. Ensuite, un certain nombre de clients ont bien géré leur performance énergétique sur le site et ont bien travaillé pour économiser les kilowattheures, mais ils n'ont pas travaillé encore sur les achats. Ils ont bien réussi sur la performance énergétique, mais ils ont laissé filer le sujet des achats. A l'inverse, certains clients ont bien négocié leurs contrats d'énergie, mais ils consomment énormément au mètre carré. Ils sont l'idéal pour nous car il y a un gisement énorme pour les faire progresser. L'idée est de bien se positionner sur l'ensemble de ces cas pour apporter la bonne réponse, non pas forcément la performance énergétique, mais aussi regarder le coût par mégawattheure. Le client a-t-il le bon contrat d'énergie ? In fine, le client va s'intéresser à l'euro qu'il va gagner dans son



bâtiment. Selon le cas, nous proposons une offre énergie pour l'accompagner.

Une autre façon de représenter le sujet est de lier économies d'énergie et temps de retour. Notre périmètre est de travailler sur l'exploitation, qui n'est pas une constante, mais une variable, de gagner en performance en travaillant sur l'exploitation. Des gains peuvent être faits sur la performance en exploitation. Le travail sur les systèmes permet d'obtenir des gains supplémentaires. Ensuite, nous pouvons avancer encore plus loin sur la performance

énergétique en ayant des interventions partielles sur l'enveloppe. Nous sommes un peu à la frontière d'autres activités du Groupe Vinci. Ensuite, que pouvons-nous faire ? Nous sortons un peu du périmètre de Vinci Facilities pour arriver plutôt dans le périmètre de Vinci Construction où il va falloir imaginer des travaux avec des temps de retour beaucoup plus longs pour rénover complètement le bâtiment. Il faut toujours bien se rappeler qu'il faut caler dans ce schéma la durée du contrat de l'opérateur. Selon la durée de notre contrat avec le client, nous pourrons faire plus ou moins de choses avec lui. Dans un contrat du type CPE ou PPP, il y a beaucoup plus de marges de manœuvre que dans un contrat de quelques années.

Enfin, j'ouvre la voie pour la présentation qui va suivre, avec la programmation pluriannuelle des travaux, élargie à l'ensemble du parc, afin qu'un gros utilisateur avec lequel nous avons un contrat à long terme puisse planifier le renouvellement de ces groupes froids pour faire le maximum de gains dans le temps. Nous travaillons là sur la qualité intrinsèque du bâtiment.

Pouvons-nous ensuite réfléchir à d'autres choses, telle une offre de parcs multi-clients ? Sur les deux premiers volets, nous pouvons commencer à réfléchir. Mutualiser un parc de plusieurs clients, en travaillant sur les deux premiers points, notamment sur le sujet du monitoring énergétique sur plusieurs bâtiments en jouant sur les effacements, les modulations, etc. a-t-il un sens ? Je laisse la place à Mathieu et nous rediscuterons tout à l'heure sur la manière de faire la jonction entre le sujet de la réhabilitation et celui de l'exploitation pour atteindre la performance effective.

Mathieu Rivallain, *doctorant à l'Ecole des Ponts ParisTech*



Aide à la décision et optimisation multicritère des programmes de réhabilitation énergétique des bâtiments existants



Mathieu RIVALLAIN
Olivier BAVEREL
Bruno PEUPOORTIER

July 5, 2012

Merci. Monsieur Ernest dira d'ailleurs peut-être quelques mots à l'issue de ma présentation. Une partie de mes travaux de thèse se réalisent en lien avec la chaire. Je vais donc vous en présenter aujourd'hui quelques aspects. Nous travaillons sur l'aide à la décision multicritères et l'optimisation pour la définition des programmes de réhabilitation énergétique visant les bâtiments existants. Nous partons principalement de l'échelle d'un bâtiment pour l'étendre ensuite aux parcs et à un ensemble de bâtiments.

Pour faire le lien avec les présentations précédentes, je vous propose de revenir sur le **processus de décision ou le processus de conception d'un programme de réhabilitation**. En termes d'aide à la décision, nous nous plaçons en amont. En phase de conception, nous nous demandons quels sont les bons programmes ou les programmes efficaces qui vont pouvoir être mis en place sur les bâtiments. Je ne parle pas du pilotage en temps réel des installations, de mutualisation ou de réglage de différents capteurs. Ce processus va passer par différentes phases.



La première est la définition des critères. Comme nous l'avons vu avec monsieur Bonabeau, les critères de décision, pour lui, sont une cible énergétique (la classe C), un certain volume d'investissements, etc. Quant à nous, nous allons pouvoir proposer d'autres critères de décision. Ensuite, nous avons toute une phase d'audit qui vous a été bien présentée par les deux intervenants précédents.

Nous allons rechercher à caractériser l'ensemble des paramètres qui nous permettent de calculer la performance des programmes que nous proposons. Ensuite, nous proposons une présélection d'actions potentiellement efficaces. Enfin, à partir de ces actions, nous cherchons à composer des programmes les plus efficaces possibles à l'échelle d'un bâtiment ou d'un parc, sur un cycle de vie. Nous allons nous intéresser aujourd'hui à ce quatrième et dernier point.

Pour la composition de ces programmes de réhabilitation, nous nous proposons de travailler sur un bâtiment. Nous faisons intervenir des mesures qui ont trait à la fois à la réduction des besoins d'énergie (isolation des murs, des planchers supérieurs, des planchers inférieurs, de la toiture, remplacement des vitrages). Nous allons toucher aussi aux systèmes de chauffage, de ventilation. Puis, nous touchons éventuellement à la production d'énergie renouvelable, comme par exemple la production d'eau chaude sanitaire thermique. Telles sont les variables d'actions que nous avons à disposition.

Criteria for existing building retrofit

Objective functions (on life cycle)

Environment

- Cumulated primary energy consumption [Frischknecht & al, 1996]
- Climate change potential [Guinee et al., 2001] [IPCC, 1994] [IPCC, 2001] [IPCC, 2007]
- Abiotic resources depletion [Guinee et al., 2001]
- Air acidification potential [Guinee et al., 2001]
- Other LCA indicators

Economy

- Investment cost
- Global cost on life cycle

Occupant comfort

- Thermal comfort indicator

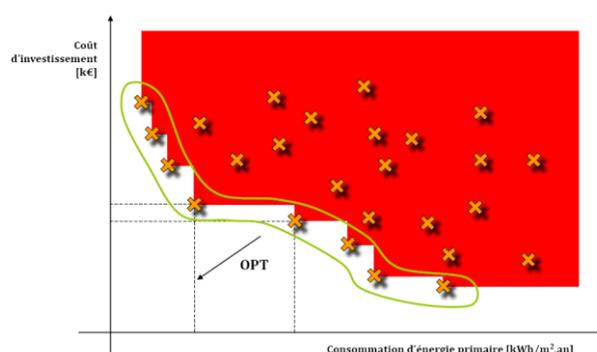
Evaluation : simulations thermiques dynamiques et ACV

Concernant les critères sur lesquels nous nous proposons de travailler pour chercher à identifier des programmes intéressants, nous allons un peu au-delà de l'approche par cibles énergétiques ou relative au coût d'investissement parce que nous nous intéressons aux impacts environnementaux sur le cycle de vie des bâtiments réhabilités. Vous avez une première liste de quelques impacts au travers des consommations d'énergie primaire, du changement climatique et d'autres indicateurs.

Nous avons également un certain nombre d'objectifs de nature économique, sur les coûts d'investissement ou le coût global sur le cycle de vie. Enfin, nous nous intéressons aussi au confort thermique de l'occupant. Il y a énormément d'autres objectifs qu'il serait légitime de considérer en réhabilitation (confort visuel, confort acoustique, etc.), mais nous nous limitons à ces quelques critères. Nous évaluons ces différents objectifs, notamment en passant par de la simulation thermique dynamique pour calculer les besoins de chauffage et par des modèles d'analyse de cycles de vie ou d'analyse de coûts de cycles de vie.

Qu'est-ce que l'on propose d'apporter à notre décideur, qu'il soit bailleur social ou concepteur comme GTM qui réfléchit aussi au type de programmes qu'il va pouvoir intégrer dans une réponse à un appel d'offres ? Nous nous proposons d'aider notre décideur ou notre concepteur en lui fournissant ce que l'on appelle un front de Pareto, une surface de compromis. Il y a différentes approches potentielles pour

Front de Pareto



l'analyse multicritères. Parmi elles, la méthode la plus évidente correspond simplement à une simulation itérative. On essaie un certain nombre de variables et on améliore progressivement. Nous identifions évidemment des solutions qui ne sont pas forcément celles du front de Pareto. Nous nous proposons de travailler sur des méthodes d'optimisation qui vont faire apparaître ces surfaces de compromis. Nous sommes capables d'identifier clairement les solutions non dominées et de voir en même temps si dans certains cas, il est possible d'économiser beaucoup d'énergie en consentant un investissement moindre.

Les travaux que nous allons vous présenter sont illustrés par le cas de ce petit bâtiment. C'est un bâtiment collectif qui ressemble un peu à certains qui sont traités par GTM. Il date d'avant 1974 et son mode constructif est relativement classique pour l'époque. Les besoins de chaleur s'élevaient quasiment à 190 kilowattheures par mètre carré et par an. Sur ce bâtiment, nous proposons différentes mesures de réhabilitation touchant à l'isolation de l'enveloppe, à différentes isolations potentielles (isolation des planchers bas, des toitures), au remplacement des systèmes, etc. Il faut savoir que nous cherchons à la fois à identifier quelles sont les bonnes combinaisons d'actions et quelle est la bonne planification dans le temps. Nous voulons répondre à la fois à la question du phasage des travaux et de la combinaison optimale des travaux.

Case study : Barre Grimaud



Barre Grimaud

Type :	Multi family R+4
Number of dwellings :	10
SHAB :	792 m ²
Construction :	before 1974

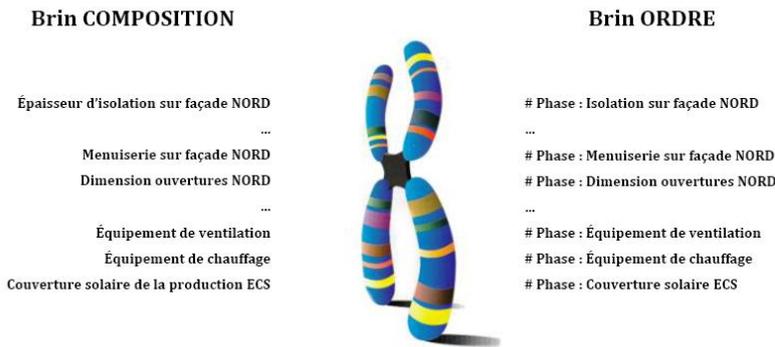
Constructive elements BEFORE ENERGY RETROFIT

Exterior walls :	concrete blocks filled in with concrete
Bottom floor :	concrete slab 200mm
Roof :	terrace, concrete slab
Windows :	PVC double glazing
Ventilation :	non modulated mechanical ventilation
Chaudière :	collective gas boiler installed before 1988
ECS :	individual gas boilers

Heating energy needs BEFORE RETROFIT :
190 kWh/m².an

Pour répondre à monsieur Ernest, nous nous intéressons principalement à la qualité intrinsèque du bâtiment. Nous considérons pour le moment que nos occupants vont chauffer à 19 degrés. Ce sont les paramètres des modèles sur lesquels nous pourrions jouer pour voir comment évoluent nos solutions. Le problème n'est pas évident parce que nous savons bien que ces mesures sont en interaction. Le bâtiment est un système et il faut donc mettre en place des méthodes assez élaborées.

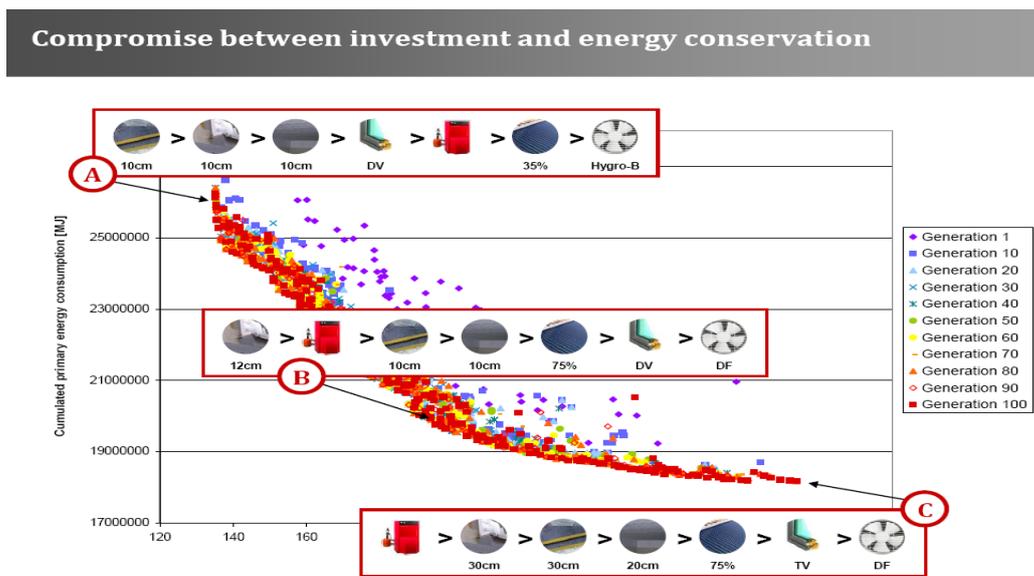
La première méthode d'optimisation que l'on utilise est ce que l'on appelle des algorithmes génétiques. En fait, chaque solution qui est un programme de réhabilitation phasé dans le temps va être représentée par deux chromosomes : un chromosome qui code les informations sur le phasage et un autre chromosome qui code les informations sur la composition du programme de réhabilitation. En général, la méthode d'optimisation est assez simple. On initialise d'abord un grand nombre de programmes potentiels qui sont en fait des solutions pour nous et on les évalue. Un peu comme dans la théorie de l'évolution, on garde les meilleurs et on les fait se reproduire par des croisements et des mutations sur les chromosomes qui les représentent. On sélectionne les meilleurs enfants pour avoir une bonne population. Ainsi, par itération sur les générations, nous commençons à identifier de bonnes solutions.



Pour vous donner confiance, je vous montre un petit exemple. Vous voyez une population de solutions. Chaque point représente un programme de réhabilitation, c'est-à-dire une composition et un phasage dans le temps. Vous le voyez sur ces deux critères que sont le

coût d'investissement et les consommations d'énergie primaire.

A la génération 1, il y a un ensemble de solutions potentielles. On itère notre algorithme et au fur et à mesure des générations, les performances des solutions s'améliorent progressivement, à la fois en qualité et en distribution. A la génération 100, on aboutit à la description d'une surface de compromis sur ces deux critères.



Un intervenant

J'ai une question. Je comprends bien que l'on puisse faire de très nombreuses simulations sur un bâtiment pour arriver à la meilleure option énergétique. Par contre, j'ai du mal à voir comment l'on arrive à faire de très nombreux chiffreages.

Mathieu Rivallain

Pour évaluer chaque point, nous avons un modèle d'analyse du cycle de vie et un modèle d'analyse du coût du cycle de vie. Pour les études de prix, je comprends bien que cela vous paraisse extrêmement simpliste, mais à partir de la quantité de matériaux ou du type de

matériaux que l'on met en œuvre, on le relie à une indication de prix qui est censée correspondre plus ou moins à l'investissement relatif et qui va nous permettre d'évaluer ce genre de choses. C'est donc automatique, mais je conviens que ce soit assez simplifié sur le plan économique.

Nous obtenons ce type de solutions. Comme je vous l'ai dit, chaque point correspond à un programme de réhabilitation. Nous sommes donc encore à l'échelle d'un seul bâtiment. Vous voyez ensuite une illustration sur le cas de trois points. Le point A correspond à un investissement assez faible, mais aussi à une performance énergétique relativement faible. Le programme est relativement classique. Nous allons d'abord isoler la toiture, puis les murs, puis le plancher bas, remplacer les vitrages, changer le système de chauffage, intégrer la production d'énergie renouvelable à hauteur de 35 % sur le facteur solaire de production d'eau chaude sanitaire et changer la ventilation. Le point B représente un investissement certes plus important, mais pour des gains énergétiques relativement considérables. Globalement, il n'y a pas une énorme différence en termes de systèmes installés. Au lieu de mettre dix centimètres d'isolant sur les façades, on en met douze et on intègre davantage de production d'eau chaude solaire thermique. Avec ce phasage et ces mesures, on améliore nettement les performances. Les solutions les plus performantes, comme le point C, qui coûtent très cher, mais qui améliorent notablement la performance énergétique, sans surprise, mettent en œuvre des épaisseurs d'isolation très élevées et des systèmes également très efficaces. Il est déjà intéressant de voir ce premier compromis en termes d'investissements et de consommations énergétiques.

Nous avons pris différents objectifs. Nous pouvons représenter ce même ensemble de points sur un plan en termes d'investissements et de coût global. Nous constatons que la solution la moins efficace énergétiquement représente malgré tout un coût global relativement élevé. C'est le point A. Le point C qui était très efficace énergétiquement, mais qui nous coûtait très cher en investissement, est nettement moins intéressant en coût global sur cinquante ans que la solution intermédiaire. Le point B qui coûtait moins cher que la solution plus performante devient la solution optimum en termes de coût global.

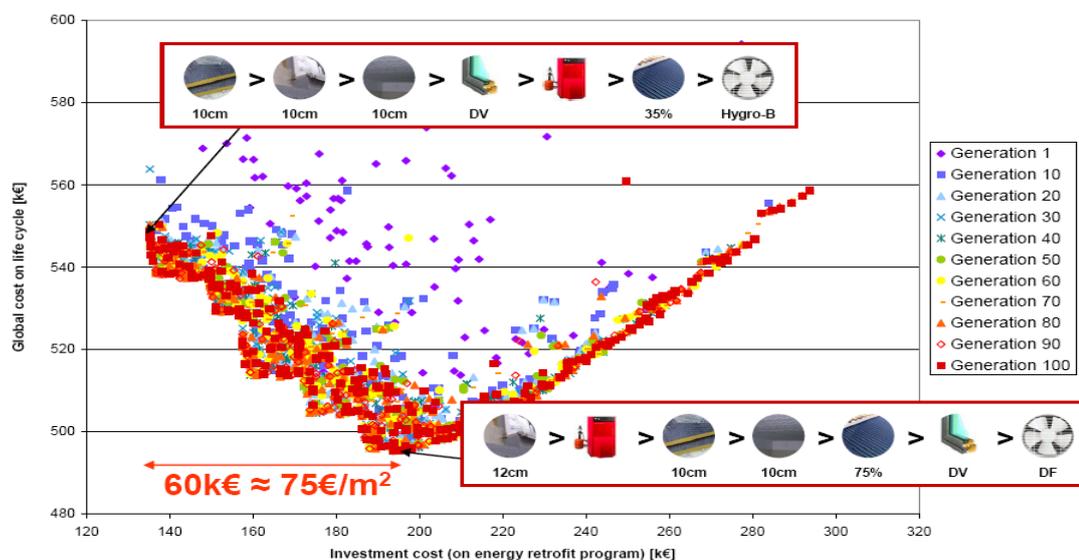
Un intervenant

Comment est évalué le coût global ?

Mathieu Rivallain

Le coût global est la somme des coûts d'investissements et des coûts d'usage sur le cycle de vie. Vous comprenez aussi que nous avons des hypothèses importantes qui sont cachées, comme les lois d'évolution du coût de l'énergie sur plusieurs dizaines d'années, mais cela nous permet, au niveau méthodologique, de tracer ce genre de courbes. Nous avons introduit des objectifs qui sont un peu différents d'une étiquette énergétique et d'un coût d'investissement, mais qui sont relatifs au cycle de vie.

Green value

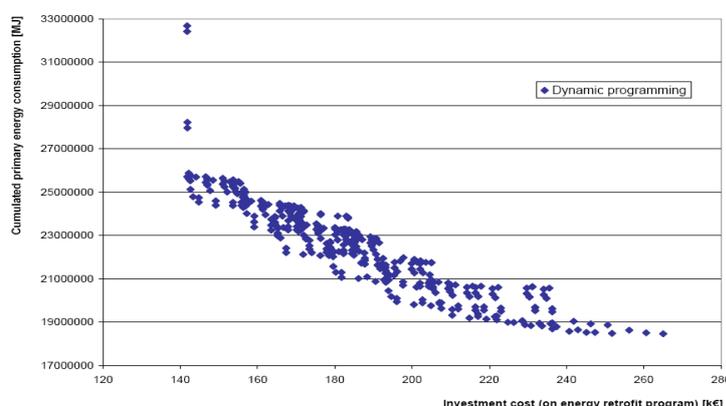


Je fais le lien avec une notion qu'a évoquée aussi David Ernest : la valeur verte. La valeur verte est une notion assez compliquée en réhabilitation puisqu'elle serait la valeur additionnelle donnée à un actif immobilier, liée à son niveau de performance énergétique. Dans nos travaux, nous n'évaluons pas précisément le coût de la performance énergétique atteinte par rapport à la réhabilitation traditionnelle. Quand on investit pour faire de la réhabilitation énergétique, en même temps, on rénove le bâtiment. On s'évite donc un certain nombre de coûts liés à la réhabilitation traditionnelle. C'est plutôt ce delta qu'il faudrait considérer en valeur verte.

Je voulais surtout illustrer aujourd'hui la différence entre les points les moins efficaces au niveau énergétique, mais qui coûtent le moins cher et cet optimum en coût global. La différence en termes d'investissements est d'environ 60 000 €, ce qui correspond environ à 75 € par mètre carré. Du point de vue de la valeur verte, ceci est assez intéressant. En général, on se dit que le coût global est une belle notion, mais ne correspond pas à l'argent disponible aujourd'hui, ce qui limite notamment les investissements. Rapportée au prix d'un actif immobilier en région parisienne à 6 000 ou 8 000 € du mètre carré, cette différence de 75 € par mètre carré correspond à 1 % du prix de l'actif. Couvrir par la valeur verte ces coûts d'investissements additionnels entre le passage d'une solution très peu efficace et une solution moyennement efficace nous semble loin d'être inaccessible.

Nous avons présenté un certain nombre de choses sur ces approches d'optimisation par les algorithmes génétiques. On améliore la performance et l'étalement des solutions sur le front de Pareto, mais c'est une méthode qui est approchée. Nous avons voulu aussi caractériser la performance de ces méthodes par rapport à des méthodes d'optimisation exactes. **Nous utilisons alors une méthode qui s'appelle la programmation dynamique.** Je vous dis juste quelques mots sur le principe pour que vous en ayez une idée. Cela s'apparente à la recherche de plus courts chemins. Si l'on faisait le parallèle avec des villes, que l'on partait d'une ville A pour aller à une ville B, alors, on rechercherait tout simplement le plus court chemin qui à chaque étape, passe par un certain nombre de villes.

Résultats de la programmation dynamique



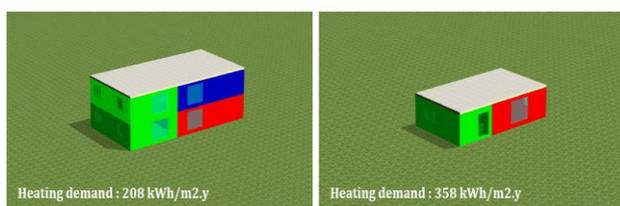
Pour nous, construire un programme de réhabilitation est un peu similaire. On part d'un état initial. A une certaine phase, on peut proposer un certain nombre de mesures, puis à la phase suivante, un autre nombre, etc. jusqu'à atteindre un état complètement réhabilité.

En appliquant la programmation dynamique sur le même compromis entre l'investissement et les consommations d'énergie, on

met en évidence ce front de Pareto que l'on peut comparer ensuite à celui trouvé par la méthode approchée. On constate alors la bonne qualité des solutions. C'est important si nous voulons travailler notamment sur des études de sensibilité, sur le comportement des occupants par exemple. Comment évoluent les solutions en réhabilitation si on chauffe à 22 degrés et non pas à 19 ? Nous pouvons le faire sur la base de cette méthode exacte.

Enfin, comment allons-nous transiter vers le parc et la gestion d'un ensemble de bâtiments ? Nous allons d'une part étendre l'approche génétique du bâtiment au parc. Nos chromosomes ne représentent plus un bâtiment, mais un ensemble de bâtiments. De la même manière, nous itérons ce type d'algorithmes pour réhabiliter des parcs. Cela va peut-être faire sourire certains bailleurs qui gèrent des milliers de bâtiments collectifs. Sur le plan méthodologique, ce type de méthodes nous permet en tout cas de valider des approches. On fait un parc minimaliste avec deux bâtiments (une maison de plain-pied et un tout petit bâtiment collectif) qui ont respectivement des besoins de chauffage de 200 et de 350 kilowattheures par mètre carré et par an. De la même manière, nous proposons des scénarios de réhabilitation à partir d'optimisations. Nous constatons ici qu'avec les générations, nos solutions s'améliorent progressivement.

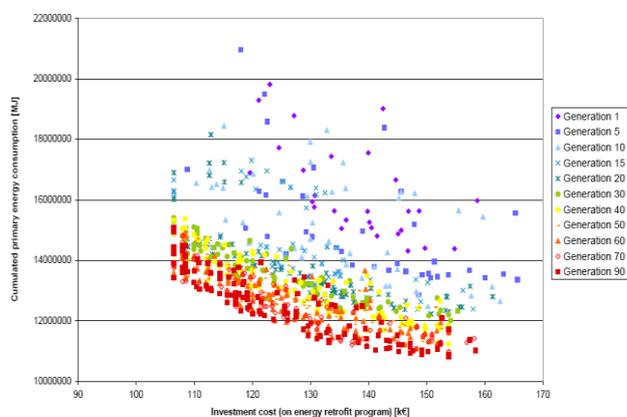
Étude de cas : parc de bâtiments



Constructive elements BEFORE ENERGY RETROFIT

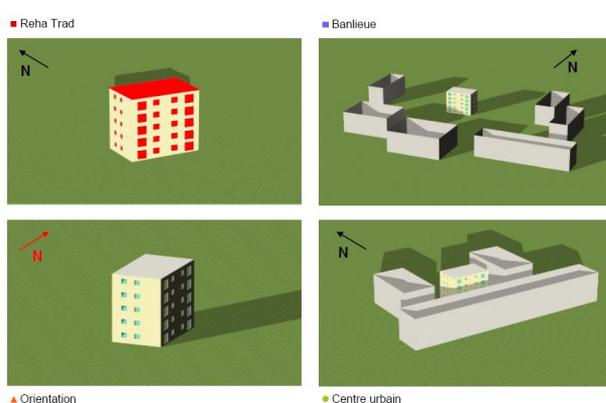
- Exterior walls : concrete blocks filled in with concrete
- Bottom floor : concrete slab 200mm
- Roof : terrace, concrete slab
- Windows : PVC double glazing
- Ventilation : non modulated mechanical ventilation
- Chaudière : collective gas boiler installed before 1988
- ECS : individual gas boilers

Compromis entre investissement et performance énergétique sur le CDV



De la même façon que dans le cas d'un seul bâtiment, nous avons nécessairement un compromis entre les coûts d'investissement et l'énergie sauvée. Le point qui réalise le minimum en coût global est un programme de réhabilitation sur les deux bâtiments. L'originalité de ce point tient au fait qu'il traite complètement un bâtiment par les différentes mesures qui sont phasées et qu'il traite ensuite le deuxième bâtiment. Parmi les points qui étaient sur les fronts, certains commençaient par faire une action sur un bâtiment, puis passaient par une action sur le deuxième, etc. Le phasage était réparti entre les deux bâtiments. Ces méthodes peuvent donc être tout à fait étendues au traitement de parcs. A partir de ces méthodes, nous pouvons donc identifier des programmes efficaces à l'échelle de plusieurs bâtiments.

Description du parc et typologies en réhabilitation



Je voulais aborder une dernière question avec vous aujourd'hui. Lorsqu'on se pose à l'échelle d'un parc, on rencontre une autre question importante : comment représenter le parc ? Va-t-on représenter notre parc par chaque bâtiment individuellement ? Va-t-on générer un certain nombre de types de bâtiments qui sont censés représenter un ensemble de bâtiments semblables ? Cette question des typologies est très importante. En général, les typologies de bâtiments sont classées par année de construction,

par mode constructif, par morphologie, éventuellement par type de propriétaires ou d'occupants ou par zone climatique.

Nous nous sommes proposé de travailler sur un bâtiment qui avait toujours la même morphologie. C'était la petite barre que vous avez déjà vue tout à l'heure. Nous nous plaçons dans quatre cas différents. Dans le premier, nous modifions son orientation. Tout à l'heure, il y avait une façade largement vitrée au sud. Cette fois-ci, on fait tourner le bâtiment à 90 degrés et on met cette façade à l'est. Dans un deuxième cas, le bâtiment a déjà été partiellement réhabilité. La toiture a déjà été refaite avec un isolant de cinq centimètres et les vitrages ont déjà été changés. Le but est de voir si les solutions sont les mêmes. Enfin, les deux derniers cas sont des bâtiments qui sont les mêmes morphologiquement, mais qui sont plus ou moins masqués. De la même manière, nous allons chercher à savoir si les solutions sont les mêmes.

Chaque front de Pareto représente la solution optimale d'un type de bâtiments. Cette fois-ci, nous n'analysons plus simplement les consommations cumulées ou les investissements cumulés, mais la réduction des consommations ou la réduction du coût global sur le cycle de vie par rapport à un scénario où rien n'aurait été fait sur ces bâtiments. Sur ces deux typologies – orientation et masque de banlieue – les performances obtenues par la réhabilitation sont à peu près les mêmes. Par contre, dans le cas d'un bâtiment qui a déjà été partiellement réhabilité, même s'il a la même morphologie et le même mode constructif, ou dans le cas d'un bâtiment qui est en centre urbain et qui est donc très masqué, les performances ne sont pas tout à fait les mêmes. Nous obtenons des solutions de nature un peu différente. Dans les cas du haut, les mêmes phasages, avec les mêmes types de mesures, sont

mis en œuvre, même si les performances sont différentes. Dans le cas du bâtiment déjà partiellement réhabilité, le phasage et les mesures ne sont plus tout à fait les mêmes. Ainsi, même si ces bâtiments se ressemblent, ils sont censés être représentés par des typologies bien différentes.

J'en viens à la conclusion. Nous avons proposé différentes méthodes et différentes approches en vue de contribuer à l'aide à la décision et à l'aide à la conception sur les programmes de réhabilitation. Notre objectif est d'aider les bailleurs, les concepteurs ou les aménageurs à imaginer quelles sont les stratégies efficaces à l'échelle d'un bâtiment ou à l'échelle d'un parc. La façon dont nous approchons l'aide à la décision tient justement à ces surfaces de compromis. Je suis d'accord avec vous, nous n'allons pas jusqu'au bout de l'aide à la décision puisque nous ne donnons pas une solution qui est la bonne, mais nous laissons le décideur, en fonction de ses préférences, choisir quelles sont les solutions qui lui semblent les plus efficaces. Nous avons deux méthodes : les algorithmes génétiques qui permettent une exploration efficace, la programmation dynamique qui nous permet à la fois de valider les solutions obtenues par la première méthode et d'envisager des études de sensibilité.

En termes de perspectives, sur le plan technique, il faut d'abord travailler sur l'évaluation des solutions. Aujourd'hui, chaque solution réclame un calcul par simulation thermique dynamique. Vous le savez si vous l'avez pratiqué, cela demande un peu de temps. Dans le cas de parcs ou de grandes entités à traiter, il faut pouvoir le faire plus efficacement, avec d'autres méthodes. Je sais que Bruno Peuportier a déjà des idées sur ces questions. Il faut par ailleurs travailler sur la définition des typologies. Nous avons vu que des bâtiments morphologiquement très semblables pouvaient, en termes de réhabilitation, correspondre à des typologies différentes, soit parce qu'ils avaient des performances différentes en réhabilitation, soit parce que les programmes étaient différents. Cela nous semble être un deuxième axe important.

Enfin, pour faire le lien avec ce qu'a dit madame Pillot, je suis moi aussi assez convaincu du fait que tout ce que nous avons présenté se focalise essentiellement sur des aspects techniques et des aspects d'ingénierie, mais qu'une bonne réhabilitation ne peut pas être uniquement une réhabilitation énergétique et technique et qu'il faut replacer les usagers à l'intérieur de ces bâtiments pour leur proposer des solutions plus globales. Vous voyez le projet de réhabilitation de Bois-le-Prêtre en proche banlieue parisienne, qui était très intéressant du point de vue des réflexions en termes d'usages.

Une intervenante

Quel était le coût par logement ?

Mathieu Rivallain

Je crois que la fourchette était de l'ordre de 600 à 650 € du mètre carré habitable.

Une intervenante

Cela représentait environ 140 000 € du logement. La majorité de nos clients sont incapables de financer une telle opération.

Mathieu Rivallain

C'est une très belle réalisation. Sur ce cas, je crois que la problématique était aussi de savoir s'il fallait démolir ou réhabiliter. Dans ce contexte, 140 000 € du logement sont peut-être plus concevables que dans le cas d'une option de réhabilitation. Pour comprendre pourquoi cela

coûte si cher, il y a eu de gros travaux et tous les espaces extérieurs ont été rapportés. Des terrasses ont été créées autour des bâtiments.

David Ernest

Je vais rebondir sur le titre parce que ce n'est pas qu'un sujet technique. Je reviens sur mon idée d'usage. Lorsqu'on démarre une opération et que l'on veut comparer l'avant et l'après, je pense qu'il faut intégrer les consommations d'énergie, mais qu'il faut aussi intégrer la notion de niveau de service que rend le bâtiment à l'occupant. Pour une opération de performance énergétique, il faut faire un niveau de service équivalent. Il faut comparer le locataire qui se chauffait à 23 degrés avant l'opération de réhabilitation et qui se chauffe à 23 degrés après l'opération de réhabilitation, pour pouvoir dire, toute chose égale par ailleurs, qu'aucune modification d'usage n'a été introduite.

Par ailleurs, ce que vous avez fait donne envie de pousser le sujet un peu plus loin et d'intégrer dans les variables, non seulement les variables de la qualité intrinsèque, mais aussi les variables de l'exploitation et de l'usage, pour voir si cela change la sensibilité de vos études. Est-ce que l'optimum technique ne va pas changer en fonction d'une certaine qualité d'exploitation, d'une certaine qualité d'usage ? Ne va-t-il pas faire changer la décision ? Est-ce que l'on peut changer d'autres variables que simplement la qualité technique du bâtiment pour atteindre l'optimum énergétique, notamment en jouant sur l'usage et l'exploitation ?

Enfin, je pense que dans un programme où l'on s'engage à un moment donné sur la performance énergétique, il faut intégrer l'aval. C'est-à-dire comment les prévisions en termes de conception vont-elles se répercuter en performance effective en aval ? Oui ou non ? Aujourd'hui, les premiers retours d'expérience sur les bâtiments BBC ou HQE montrent un soi-disant écart énorme entre la performance effective et la performance théorique. Il est simplement lié au fait que les bonnes données d'usage et d'exploitation n'ont pas forcément été intégrées dans la simulation de la performance.

Mathieu Rivallain

Tout à fait. Pour aider à la décision, les critères sont importants parce qu'ils n'exhiberont pas les mêmes solutions et les variables d'actions que l'on propose sont tout aussi importants parce qu'ils composeront aussi les différentes solutions.

Une intervenante

N'est-ce pas simplement un problème de bon sens que de se dire qu'une isolation plus épaisse et qu'une ventilation double flux permettront d'être plus efficace énergétiquement, mais coûteront plus chers ? Mon raisonnement est simpliste, mais n'y a-t-il pas une usine à gaz derrière quelque chose qui relève du bon sens ? Ma question n'est pas méchante, mais elle m'est venue au moment des comparaisons de solutions. Est-ce que vous portez beaucoup de réflexions pour arriver finalement à quelque chose auquel nous serions arrivés en y ayant un peu réfléchi ?

Mathieu Rivallain

Il serait très bien que la profession y arrive naturellement. Nous n'imaginons pas forcément que demain, tous les concepteurs fassent tourner en permanence de tels calculs d'optimisation pour identifier quelles sont les solutions dans leur cas. Vous le savez aussi bien que moi, le bâtiment est un système complexe et chacune des mesures est en interaction. Avec le bon sens, nous avons déjà l'ordre 1 des réductions, ce qui est déjà une très bonne chose. Parfois, le minimum global n'est pas la solution qui met quinze centimètres d'isolant, mais celle qui en met dix ou douze. Ce type de méthodes peut apporter cette finesse dans la fin de l'optimisation.

Un intervenant

Les Allemands ont fait le passif qui dit qu'à partir de 15 kilowattheures, l'optimum énergétique est atteint. Avec votre outil, auriez-vous pu mettre en évidence ces 15 kilowattheures ? Cherchez-vous à le faire ?

Mathieu Rivallain

Nous pouvons le rechercher parce que nous ne travaillons pas par cible, mais nous optimisons les programmes. Sur ces graphiques, je n'ai pas porté la performance énergétique ou le besoin de chaleur des solutions réhabilitées. L'optimum technico-économique dépend aussi beaucoup de la configuration initiale. En réhabilitation, quand la configuration initiale du bâtiment permet difficilement la très haute performance, il faut peut-être s'arrêter avant le niveau passif.

Un intervenant

Je crois que Pascal Gontier a fait un bâtiment passif neuf, orienté au nord.

Mathieu Rivallain

Nous pourrions regarder où sont placés les bâtiments passifs ou proches du passif. Il n'est pas certain que le passif corresponde à des solutions technico-économiques aussi avantageuses dans le contexte français.

Un intervenant

Qu'est-ce que le contexte français a de particulier par rapport au contexte allemand ? Est-ce plus cher ? Est-ce moins bien construit ?

Véronique Pillot

Début hors micro. Inaudible. Au niveau de la conscience collective, en Allemagne, on reconstruit, on ne se pose pas trop de questions.

Un intervenant

En termes environnemental, est-ce bien de tout casser ?

Véronique Pillot

Il y a le point de vue global et il y a aussi le point de vue de l'occupant. Où met-on les gens ? C'est un vrai sujet.

Mathieu Rivallain

Tout dépend en fait de la performance énergétique de départ et celle d'arrivée.

Bruno Peuportier

L'optimum dépend des critères que l'on se fixe en priorité. Le crédo du label passif était de réduire les besoins en chauffage et de se passer ainsi du système de chauffage. C'est vrai dans le neuf, mais dans l'existant, le système de chauffage existe déjà. Il n'y a donc plus d'intérêt à s'en passer. Si on travaille uniquement sur l'optimum économique, on n'a plus autant d'intérêts à réduire les besoins de chauffage du bâtiment puisqu'il y a un système de chauffage existant. Par contre, si on travaille sur d'autres indicateurs comme des indicateurs environnementaux, on peut aller plus loin dans la performance. Si on veut atteindre un facteur 4 au niveau du parc, on sait qu'il faudra atteindre peut-être un facteur 10 au niveau de ce parc de logements sociaux qui ne sont pas protégés par les architectes des Bâtiments de France. Cette économie globale en termes de compromis entre coût et environnement est très politique. Dans une opération où le politique n'intervient pas et où le bilan économique fait

seul la décision, le compromis n'est pas le même que dans d'autres cas, comme en Allemagne, où il y a une intervention politique beaucoup plus forte. Nous l'avons vu avec les aides qui sont données pour la réhabilitation.

Un intervenant

J'ai une question sur votre étude concernant le phasage. Je n'ai pas bien compris quels étaient les paramètres de phasage, les durées et pourquoi ils pouvaient avoir de tels impacts sur les rentabilités des scénarios.

Mathieu Rivallain

Dans cette étude, nous supposons que nous allons faire une action de réhabilitation par an. Nous cherchons en fait quelle est la permutation optimale de ces actions. Nous avons travaillé aussi sur une optimisation sous contrainte. Un bailleur social a un budget limité, suivant un plan de financement. Il va donc chercher aussi à phaser ses actions. Quelles actions pouvons-nous effectuer et dans quel ordre ?

Un intervenant

Je voulais intervenir sur le coût global. Vaut-il mieux réhabiliter ou tout casser et recommencer ? Nous avons eu la chance de travailler sur deux opérations de réhabilitation des campus universitaires en France. Sur deux campus différents dont la construction datait à peu près de la même époque, deux scénarios étaient possibles, soit la réhabilitation, soit la démolition-reconstruction avec un bâtiment encore moins énergivore. En fait, nous nous sommes aperçus que sur l'un des campus, il fallait réhabiliter et que sur l'autre, il fallait démolir et reconstruire. Cela dépend d'où l'on part et jusqu'où l'on peut arriver avec le bâtiment existant. Dans un cas, nous pouvions arriver assez haut sur un bâtiment à l'origine mauvais et dans l'autre cas, le bâtiment était tellement mauvais que nous ne pouvions pas dépasser un certain seuil en réhabilitation. Nous avons vraiment une grande marge d'amélioration en passant sur du neuf.

Il faut aussi se poser la question de l'usage du bâtiment. Il s'avérait que le bâtiment que nous avons décidé de démolir et de reconstruire avait des trames constructives très strictes qui empêchaient les modifications d'usage à l'intérieur des bâtiments. Ce bâtiment avait donc assez peu d'avenir dans une université qui bouge en permanence.

On parle quand même bien de réhabilitation de parcs dans ton étude, Mathieu. Les algorithmes génétiques sont appliqués à chaque fois à un bâtiment, avec un scénario de réhabilitation que l'on fait varier. L'idée n'était-elle pas d'appliquer ces scénarios à un parc plutôt que d'appliquer ces scénarios bâtiment par bâtiment, dans un parc ? Comme tu l'as montré, il y a plein de situations possibles. Vaut-il mieux, la première année, changer les fenêtres sur un bâtiment, la chaudière sur un autre, isoler la quatrième ou au contraire la première année, changer toutes les fenêtres et la deuxième année, changer toutes les chaudières ?

Mathieu Rivallain

Il se trouve que par hasard, la solution que l'on exhibe et qui réalise le minimum en coût global envisage de traiter tout sur le premier bâtiment et de traiter ensuite tout sur le deuxième. Les programmes à l'échelle du parc peuvent être complètement phasés entre les différents bâtiments et passer de l'un à l'autre sans aucun souci. Aujourd'hui, au niveau technique, pourquoi nous limitons-nous à deux bâtiments ? Évaluer un programme de réhabilitation à l'échelle du parc nous demande beaucoup de temps parce qu'il faut faire à chaque fois des simulations thermiques dynamiques. Si nous avions des méthodes de calculs statiques mais maîtrisées ou des méthodes par des surfaces de réponses, nous pourrions faire

ces évaluations beaucoup plus rapidement et traiter ainsi de très nombreux bâtiments en même temps et faire exactement ce que tu dis, chercher des optimums. Est-ce qu'il faut changer toutes les fenêtres du parc la première année avant de faire une autre action ? Est-ce qu'il vaut mieux traiter certaines typologies et d'autres ensuite ? Les méthodes qui sont en place permettent d'y répondre, mais il faut que l'on s'améliore sur l'efficacité de l'évaluation de chacune des solutions.

Au niveau du parc, d'autres leviers apparaissent : les réseaux de chaleur, la possibilité de réinjecter ou d'échanger de l'énergie entre plusieurs bâtiments. Ce sont des variables d'actions qu'il faudrait introduire davantage à l'échelle du parc, ce qui n'est pas fait aujourd'hui.

Maxime Trocmé

Merci beaucoup, Mathieu. Je vous signale que comme d'habitude, l'ensemble des interventions seront disponibles sur le site de la chaire : www.chaire-eco-conception.org. La prochaine soirée aura lieu le 18 septembre et nous parlerons des outils d'éco-conception du transport. Nous sommes aussi en train de préparer l'université de la chaire qui aura lieu les 2 et 3 octobre à l'abbaye des Vaux de Cernay. Avis aux amateurs ! Je vous invite maintenant à aller profiter du cocktail qui se trouve dehors.

Transcription des actes réalisée par la société Résumémo- Nantes – 02 40 47 12 70