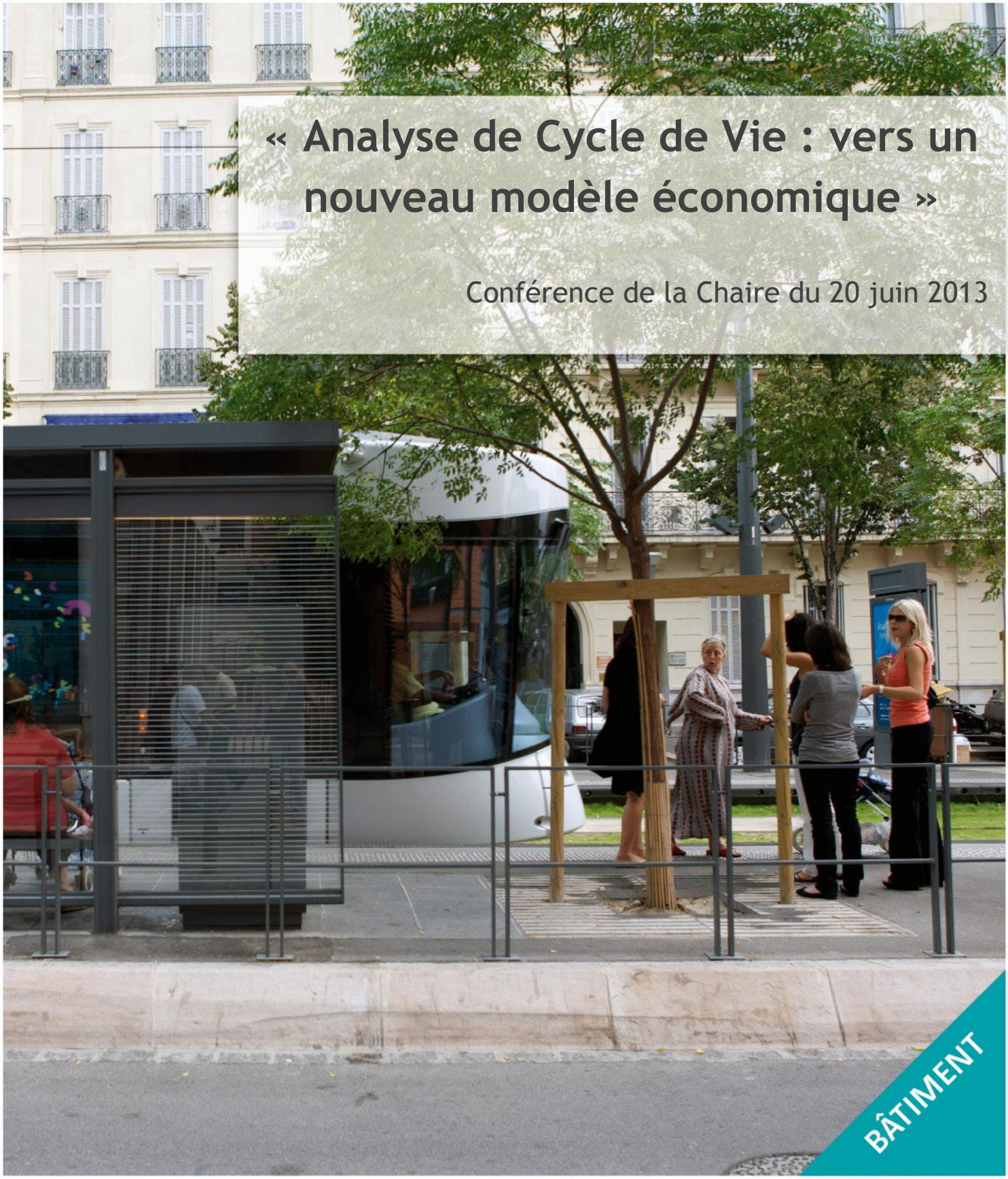
ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

En partenariat avec VINCI

Chaire ParisTech

Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures



« Analyse de Cycle de Vie : vers un nouveau modèle économique »

Conférence de la Chaire du 20 juin 2013

BÂTIMENT

Ouverture de la conférence

Maxime Trocmé, *Responsable environnement et scientifique, VINCI*

Bonjour à tous. Je suis Maxime Trocmé. Je suis responsable environnement et scientifique chez Vinci. Je remercie tous les gens qui sont là. Nous avons toute la diversité des métiers de Vinci présente ici, que ce soit Vinci Construction, Vinci Energies, Vinci Concession. Nous avons également quelques partenaires, je pense notamment à EDF, qui nous fait l'honneur de sa présence.

Je vois aussi de nouveaux visages. C'est peut-être pour moi l'occasion de vous rappeler ce qu'est la Chaire Éco-conception. Cette chaire est un partenariat de long terme entre Vinci et trois écoles de ParisTech qui sont l'École des Mines, l'École des Ponts et l'AgroParisTech. L'objectif de la chaire est de développer ensemble les outils et les référentiels de l'éco-conception appliquée au bâti et aux infrastructures.

Vous avez sur vos chaises le programme de cette chaire, avec les différents sujets de recherche, et le planning des évènements que nous organisons en 2013. Vous voyez, par exemple, que le 19 septembre 2013, nous dédierons une soirée à l'agriculture urbaine. Si vous aussi, vous avez envie de défricher le terrain, n'hésitez pas à nous rejoindre.

Ce soir, nous lançons la 19ème soirée-conférence. Le sujet est un sujet assez novateur : l'analyse de cycle de vie ». Nous connaissons ce sujet chez Vinci et nous l'appliquons très régulièrement, notamment chez Vinci Construction, chez Eurovia, chez Soletanche Freyssinet, sur des projets de bâtiments, de routes, de travaux de spécialité. Nous allons essayer d'aborder ce soir la problématique de ce que doit devenir l'analyse de cycle de vie pour traiter les problèmes à l'échelle urbaine.

Vous voyez sur le programme qu'à 19h un cocktail est organisé, mais avant cela, nous aurons quatre présentations. Nous aurons deux présentations de chercheurs : la première à intervenir sera Charlotte Roux, de l'École des Mines de Paris, qui vous expliquera tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur l'analyse de cycle de vie dynamique et l'analyse de cycle de vie conséquentielle. Puis ce sera au tour d'Edi Assoumou qui travaille au Centre des mathématiques appliquées de l'École des Mines de Paris de nous expliquer les évolutions prévues sur les différents mix électriques, que ce soit au niveau mondial ou au niveau français.

Pour introduire la soirée, nous souhaitons vous montrer comment ces travaux de recherche répondent à des problématiques opérationnelles qui peuvent être posées soit par Vinci, soit par ses partenaires. Christophe Gobin viendra pour Vinci vous expliquer les nouvelles problématiques de l'éco-conception à l'échelle urbaine et Monsieur Arnaud, Président du développement de Transdev, représentera nos partenaires non pas à ce titre, mais au titre de Président d'Efficacity. Il portera la voix de 31 partenaires qui travaillent sur ces problématiques d'efficacité énergétique et d'éco-conception urbaine.

Vous l'avez compris, Christophe Gobin va introduire cette journée et je suis très heureux de lui laisser la parole.

Les nouvelles problématiques de l'éco-conception urbaine

Christophe Gobin, *Coordinateur Recherche & Développement, VINCI Construction France*

Il m'appartient le devoir, mais aussi le plaisir d'aborder ces questions qui me sont chères, mais que dans de nombreuses discussions que j'ai eues avec certains d'entre vous, je m'aperçois que la compréhension n'est pas toujours si immédiate que cela. Autour des ACV dites conséquentielle, je vais tenter de remonter le fil de l'histoire pour vous expliquer pourquoi il nous faut des outils un peu différents de ceux que nous utilisons habituellement. J'espère qu'à la fin de cette rapide présentation nous pourrons échanger sur ces sujets riches de potentiels, mais qui vont dépendre beaucoup de ce que nous voudrons en faire collectivement.

Je pense qu'à l'heure actuelle, vous êtes tous confrontés à des problèmes immédiats de conjoncture, de concurrence par les prix. Vous êtes tous aussi conscients que derrière cela, il existe bien d'autres préoccupations occultées par ces problèmes de conjoncture difficile, que sont les évolutions du changement climatique, de l'approche des différents objets que nous construisons. C'est bien l'objectif d'aborder cette question de dimension urbaine de la chose construite qui va nous poser problème.

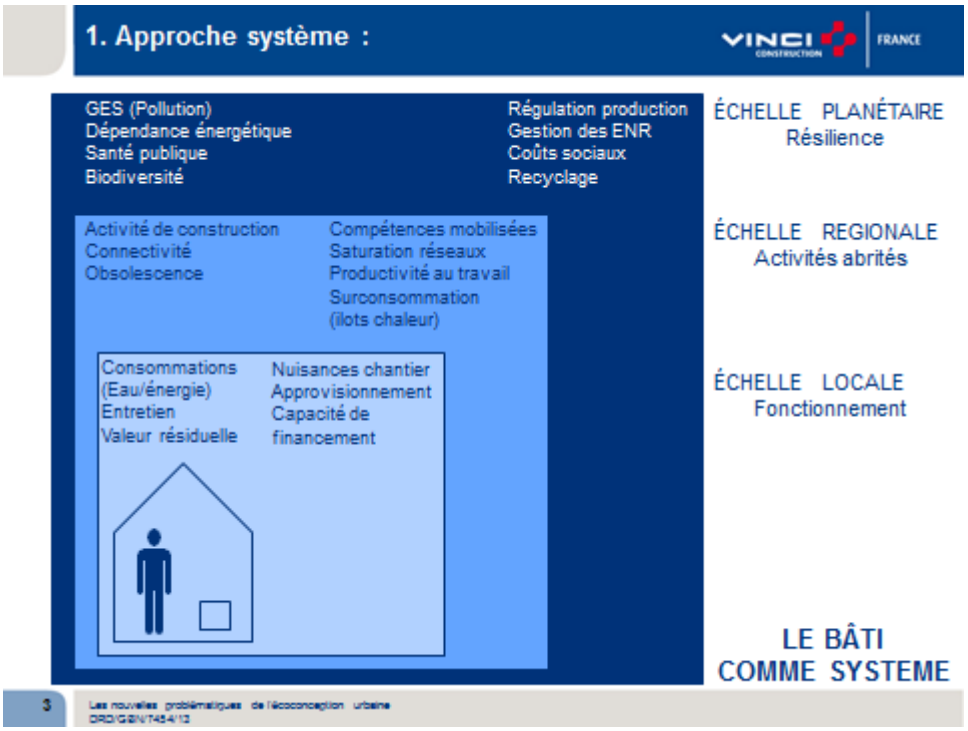
Pour essayer d'explorer ce champ, l'idée est de se dire qu'il existe deux problématiques auxquelles nous avons de difficultés de réponse opérationnelle. La première est l'approche système. J'aurais là aussi peut-être dû mettre système entre guillemets, mais nous voyons bien que nos objets ne sont pas seulement des objets statiques, surtout quand nous parlons de construction en ville, d'équipements collectifs. Il se passe de nombreuses choses autour de cet objet et il n'est pas uniquement une chose inerte. C'est bien ce que nous appelons un système dans d'autres milieux industriels.

Comment alors mesurer cette dimension ? Comment appréhender cet enrichissement des caractéristiques de chaque produit ? Si je reprends ces deux termes, le premier représente bien le fait que les objets sur lesquels nous travaillons ne sont plus limités à une seule dimension, mais sont désormais multidimensionnels. La mesure se fait essentiellement par rapport à ces aspects nouveaux. Comment pouvons-nous maîtriser les dimensions de performance de ces éléments ? Et comment pouvons-nous en tirer parti ? Même si grosso modo, je suis toujours conceptuel, je pense qu'il faut être pragmatique.

Pourquoi faire tout cela ? Un certain nombre de donneurs d'ordres bougent sur la question. La dernière manifestation de cette demande est apparue il y a environ un mois. L'Agence nationale de la réhabilitation urbaine, dans son programme n°2, écrit explicitement que l'ensemble des opérations qui seront lancées devront faire l'objet d'une ACV quartier. Qu'est-ce qu'une ACV ? Pour tous ceux qui pratiquent un peu la chaire, nous savons que c'est une nouvelle méthode d'analyse multicritère d'un objet. Il est intéressant que l'ANRU

qui est au cœur de nos préoccupations et au cœur de notre business le pose comme issue incontournable pour les années qui viennent.

Je vous propose de reprendre chacun de ces points.



Tout d'abord, l'approche système : je vais essayer de me raccrocher à ce que nous faisons dans la pratique d'une analyse de cycle de vie, c'est-à-dire analyser un objet avec toutes ses interactions, son environnement. Je sais bien que ceux d'entre vous qui appartiennent à Vinci Concession me rétorqueront que ce n'est pas une autoroute, mais bon. L'activité de Vinci Concession en France correspond majoritairement à un bâtiment pour un utilisateur. Pour dimensionner cet objet, il faut peut-être l'envisager de manière intrinsèque en se posant la question de la quantité de béton nécessaire, mais aussi en se posant la question de son fonctionnement à l'échelle locale.

Quand nous parlons de fonctionnement, c'est parce que cet objet interagit immédiatement au niveau du site où il se trouve. C'est la raison pour laquelle nous appelons cela l'échelle locale. Vous voyez que progressivement, nous introduirons d'autres échelles grâce à l'effet système.

Que prenons-nous en compte jusqu'à présent ? J'ai mis un certain nombre d'éléments relativement tangibles, que sont la consommation en eau, en énergie, en matériau, les conditions d'entretien. Je sais que certains d'entre vous sont aussi très attachés à la notion de valeur résiduelle ou de valeur de vente à terme. Mais, si nous y réfléchissons bien, ces éléments sont certes des éléments immédiats, or bien d'autres sont occultés. Si nous nous penchons sur le fonctionnement local, nous nous apercevons en particulier – et chacun

d'entre vous est conscient – qu'un chantier constitue une nuisance pour les riverains. Certains de nos chantiers sont arrêtés par des riverains qui nous attaquent à cause de manque à gagner du commerce local, des problèmes d'approvisionnements qui perturbent le cycle de vente des matériaux, des problèmes de capacité de financement puisque nous le voyons bien en ce moment, nous considérons que le bâtiment coûte trop cher pour les utilisateurs finaux. Soit nous achetons un bâtiment soit nous le louons au détriment d'autres choix de capacité de financement.

C'est une chose assez complexe et que nous tenons compte de la partie de droite que du point de vue psychologique, mais pas du point de vue économique stricto sensu. Nous sommes tout au moins incapables, à mon sens, de faire valoir notre capacité à monétariser ces éléments comme étant différenciants.

Vous avez compris que la mécanique peut s'enrichir. L'ACV a bien explicité le fait qu'un impact n'agit pas seulement au niveau local, il peut s'analyser au niveau régional. Qu'est-ce qu'un bâtiment au niveau régional ? C'est un lieu d'activité. Et nous sommes d'accord sur le fait qu'un bâtiment plus ou moins bien conçu peut faciliter la productivité au travail, mieux s'inscrire dans une nouvelle aire de développement d'un quartier. Ce bâtiment en usage aura un certain nombre d'interactions. Pour nous, l'activité essentielle est l'activité de construction qui est importante au niveau régional en termes d'emploi. Cela pose aussi la question de la relation de ce bâtiment avec d'autres équipements. Ce matin se tenait l'assemblée générale d'HQE. Vous savez que désormais un bâtiment est analysé en fonction de sa proximité à des moyens de communication et de transports collectifs, à ses problèmes d'obsolescence. Vinci Facilities sait bien qu'un bâtiment génère un chiffre d'affaires en termes d'entretien et de maintenance non négligeable.

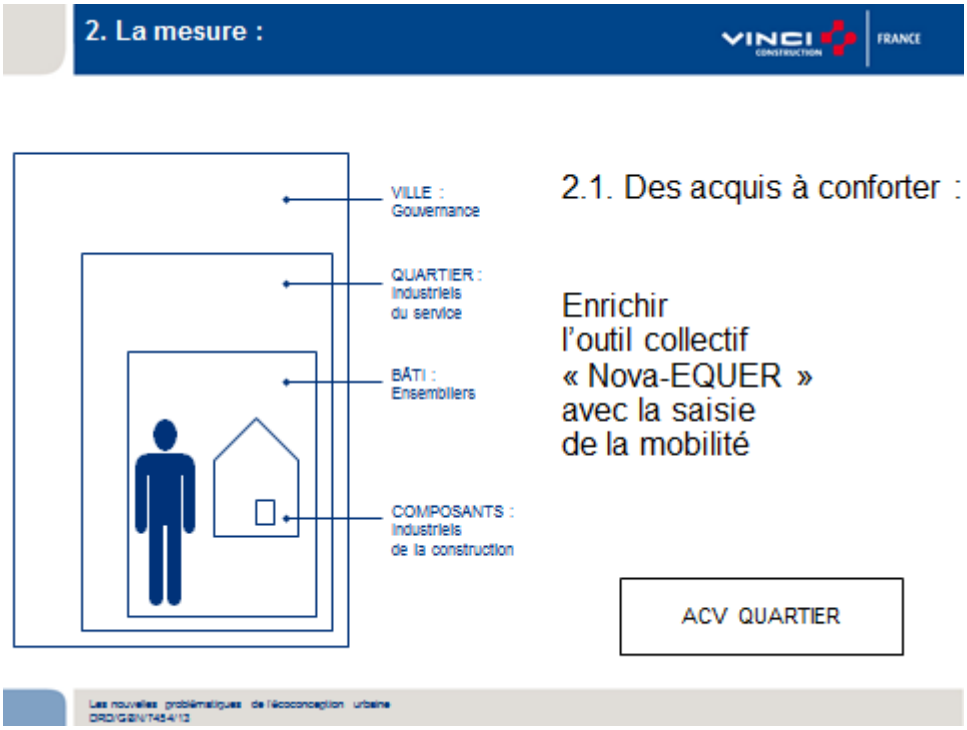
C'est la manière dont nous pratiquons habituellement, mais nous pouvons également nous demander si la construction n'est pas aussi un enjeu de compétences et d'emplois locaux ? Cela n'a-t-il pas capacité à saturer les équipements collectifs comme le trafic routier, le système d'évacuation et d'approvisionnement en eau ? N'est-ce pas un enjeu de productivité pour l'entreprise qui utilise un bâtiment ? Cela n'entraîne-t-il pas des problèmes de surconsommation ? Madame Joëlle Guiton a d'ailleurs travaillé sur les problèmes d'îlots de chaleur et nous remarquons qu'au-delà du bâtiment, il se passe plein de choses. La colonne de gauche commence à les prendre en compte ce qui est beaucoup moins le cas de celle de droite.

À l'échelle planétaire, quelle est l'importance d'une construction, nous savons bien que nous avons des impacts de gaz à effet de serre, sur la dépendance énergique. Je dirais que ce qui n'est pas encore pris en compte à l'heure actuelle, ce sont éventuellement les problématiques de régulation de réseau. Vous aurez noté toutes les discussions sur la loi Nome concernant l'inscription des nouveaux quartiers d'éoliens ou de voltaïque en surcapacité. Nous pouvons aller jusqu'à la notion d'éco-socio et d'économie circulaire de recyclage. Pour moi, il ne s'agit pas que sur chaque chantier nous nous préoccupions de

l'échelle planétaire de façon directe, mais nous pouvons inclure la notion de résilience. Beaucoup de municipalités travaillent actuellement sur ces problèmes de contraintes de la construction sur certains aspects spécifiques de résilience.

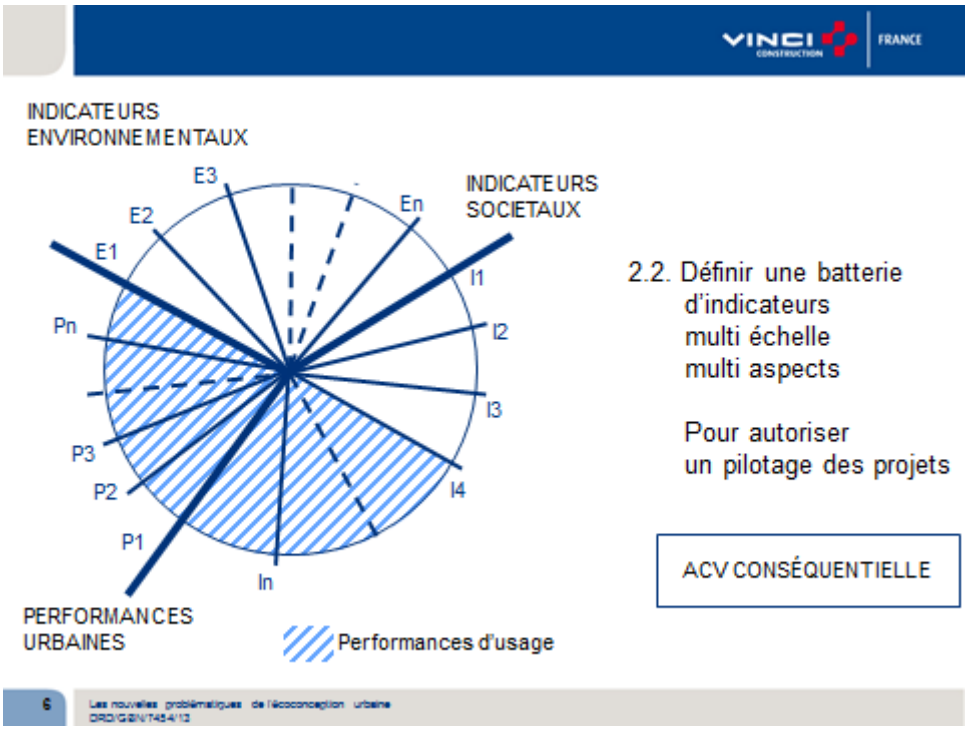
Nous pouvons légitimement nous demander pourquoi nous ne prenons pas en compte tous ces facteurs. Vous me rétorquerez que s'ils ne servent à rien, il n'est pas nécessaire de se compliquer la vie sauf que nous voyons clairement que tous les éléments de la colonne de droite vont progressivement être pris en considération par la gouvernance, au moins urbaine ou métropolitaine. Le bâtiment, qui était traditionnellement fait d'un ensemble de mètres cubes de béton, de tonnes d'acier, ou de mètres carrés de plâtre, devient un objet beaucoup plus complexe, plutôt défini par ses interactions avec son milieu, à ces différentes échelles. Cette présentation est relativement classique, mais la question maintenant est comment peut-on mesurer tout cela.

La deuxième partie de mon intervention consistera à définir deux enjeux de recherche-action. L'objectif n'est pas seulement d'améliorer les connaissances, mais de pouvoir contribuer à mettre au point des outils applicables. Le premier enjeu est la manière de modéliser, car avant de mesurer, il faut représenter le fonctionnement aux différentes échelles que nous venons d'expliciter. Le deuxième enjeu est d'être en capacité de présenter à nos clients des variantes et de proposer des solutions améliorant l'état considéré du système. Ces deux challenges sont des challenges industriels qui passent, compte tenu de l'état des connaissances, par un travail de fond et de recherche éventuellement académique.



Pour aborder la question de la mesure, il faut rappeler que nous avons des acquis constitués par les analyses de cycle de vie dont nous savons calculer les composants, nous savons le

situer dans un quartier. C'est peut-être une annonce pour certains, mais la chaire a contribué à mettre au point un outil qui s'appelle Novaéquerre, qui est capable d'analyser à l'instant T, un bâtiment dans son environnement et cela se nomme « analyse de vie d'un quartier ». L'objectif est de parachever cet outil. Nous rencontrons un problème – et c'est la raison de la présence de Claude Arnaud – pour modéliser la mobilité à l'intérieur d'un quartier. Cette démarche n'est pas encore tout à fait maîtrisée, c'est pourquoi nous allons devoir porter nos efforts en cette direction, en particulier avec les laboratoires LVMT de l'École des ponts. L'ACV quartier est un acquis, Novaéquerre est en prototypage et phase de test. Désormais, nous souhaitons le généraliser et de le diffuser.

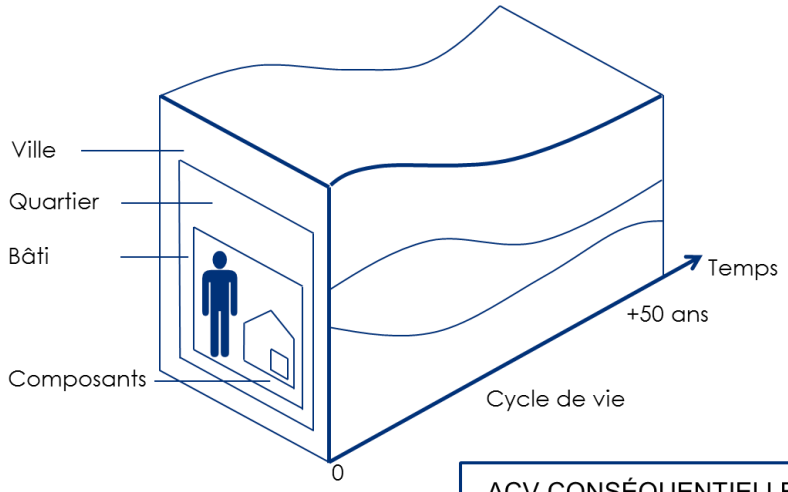


Le deuxième aspect concerne la notion d'indicateurs environnementaux. Nous connaissons la norme européenne qui fixe, je crois, une vingtaine d'indicateurs qui touchent la contribution en gaz à effet de serre, la consommation d'énergie, d'eau, déchets, etc. Nous avons un certain nombre d'indicateurs environnementaux figurés là pour 1 à N suivant les pays et les discussions. Nous voyons bien qu'il n'y a pas que l'environnement, mais qu'il existe d'autres dimensions, en particulier les indicateurs sociétaux sur ces problèmes de trafic urbain, de saturation, de surconsommation, de productivité au travail, d'indicateurs de santé publique qui vont nécessairement devoir être pris en compte. Tous ces indicateurs doivent ensuite être ramenés aux différentes performances urbaines. Cela signifie que nous comparons des quartiers ayant un même nombre d'habitants, une même surface, un même confort, une même mixité d'emploi.

Le problème à l'heure actuelle est de généraliser le nombre d'indicateurs. Ce travail est en cours au niveau européen et doit permettre de faire la part des choses, d'annoncer en

termes de mesures ce qui est de l'ordre du niveau d'indicateurs, mais ramener à un nombre de performances d'usage. Cela ne sert pas à grand-chose de dire qu'un quartier fait tant de tonnes de CO2 si nous ne le ramenons pas au nombre d'habitants, d'emplois, d'équipements collectifs de la zone. Cela a mené à définir une batterie d'indicateurs, qui compte tenu de la notion de système, doivent être multi échelles et multi aspects pour piloter les projets. C'est une nouvelle approche commerciale qui permet d'argumenter un projet, non pas en disant que c'est le meilleur, mais en expliquant en quoi ce projet améliore une situation donnée et en quoi il contribue à l'efficacité collective de la zone dans laquelle il s'implante. Cela s'appelle « ACV conséquentielle », soit une analyse de vie des impacts et des conséquences. Mademoiselle Roux vous expliquera cela plus en détail tout à l'heure. Les Américains ont une attitude plus pragmatique, ils notent CLAC. Comprenne qui pourra. Plusieurs d'entre vous m'ont suggéré de trouver un nom à cela, la boîte à idées est ouverte et toute suggestion sera bienvenue. Ce deuxième point part des outils de saisie pour modéliser et enrichit le référentiel de calcul des indicateurs.

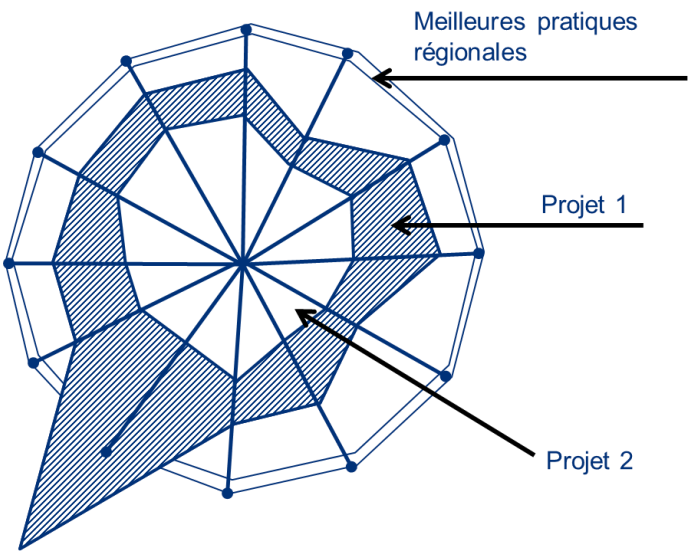
Compliquons un peu la chose : autant ceux qui ont pratiqué l'analyse de cycle de vie sur un bâtiment peuvent se dire qu'ils vont calculer les impacts de ce bâtiment en fonctionnement sur une cinquantaine d'années, ou un peu plus ou un peu moins selon la décision d'analyse que nous faisons, mais quand nous parlons d'un quartier, il est difficile de penser que sur cinquante ans, il va rester identique. Nous sommes capables à l'heure actuelle de réaliser une ACV séquentielle au temps 0, mais le quartier va fluctuer dans le temps. Ceci est une image, la fluctuation du quartier ne se fait pas forcément sous forme de vagues, mais la ville peut se densifier, se dépeupler. L'objet pour un décideur, quand il va décider des variantes, est de savoir comment il va anticiper ces variantes en fonction d'une évolution potentielle de son quartier. Nous devons trouver une modélisation prédictive de l'évolution. Un certain nombre d'outils de connaissance existe, comme des modélisations démographiques, des évolutions urbanistiques. Nous sommes capables, en fonction de ces évolutions démographiques, de prévoir le nombre d'équipements qu'il faut. Nous savons anticiper les scénarios d'évolution d'un quartier et de les plugger au projet initial de façon à se prémunir contre des risques de blocage ultérieur. Pour ceux qui ont fait un peu de philosophie, diachronique veut dire « évolution du conséquentiel dans le temps ». Il faudra là aussi changer ce vocabulaire, mais sachez que diachronique est opposé à synchronique, c'est l'analyse à l'instant où l'analyse dans la durée.



ACV CONSÉQUENTIELLE DIACHRONIQUE

Voilà de nombreux sujets. Quel est l'intérêt de cette pratique ? Nous pouvons le représenter de la manière suivante : la traduction de tous ces calculs sous forme d'un radar, le radar sera un radar régional puisque toutes ces questions ne peuvent se constituer que localement. Il n'existe pas de valeur de mesure d'une ville comparable à une ville au Moyen-Orient et une ville aux États-Unis. L'idée est de comparer dans un lieu, aux meilleures pratiques régionales ce qui pose des problèmes d'observatoire, de constitution de bases de données. Nous allons bâtir un projet qui a ce profil en sortant de l'outil. Le but n'est pas d'avoir un projet, mais d'avoir un deuxième projet avec des variantes, avec les économies que j'apporterai par rapport aux impacts. Le gain, la valeur du projet est la différence entre les deux profils. C'est ce qui constitue une nouvelle valeur économique du projet et c'est là qu'il existe une nouvelle dimension économique. L'économie n'est pas seulement le fait de chiffrer, mais aussi le fait d'expliciter l'usage des ressources.

Cela signifie que, progressivement, nous devrions avoir la capacité de créer un nouveau modèle économique basé sur la notion de dégagement de bénéfices systémiques. Cela se suppose néanmoins que pour chacun des thèmes d'impact, nous puissions les monétariser. Je pense que vous avez tous entendu parler de la taxe carbone. Elle donne une valeur monétaire à l'impact CO2 et en fonction du niveau, le gain que nous pouvons en tirer sera affecté aux projets. Ces recherches sont un vrai challenge scientifique et industriel. Nous parlons beaucoup à l'heure actuelle de compétitivité. Ce n'est pas uniquement de la technologie, mais c'est aussi un regard différent sur l'objet que nous produisons. Cela semble très philosophique, cependant je crois que la vision d'un objet permet d'approcher au plus près de sa vraie économie. Voilà l'évolution des enjeux économiques et ce que nous pouvons proposer. Plus tard, Claude Arnaud vous montrera qu'outre cela, un certain nombre d'industriels partagent ce point de vue.



Maxime Trocmé

Merci, nous avons le temps de prendre quelques questions. Vous avez parlé des différentes échelles. Avez-vous déjà des projets chez Vinci Construction sur lesquels il vous est demandé de faire des analyses de cycle de vie à plus grande échelle ?

Christophe Gobin

Disons que la dernière référence est celle de Lyon Confluence, où le projet s'est déroulé également sous l'autorité d'experts japonais. Il nous a été demandé de justifier de variantes de projets. Le but était d'avoir un plan masse à peu près organisé et à l'intérieur, d'optimiser ce projet. Cela a constitué la première utilisation de Novaéquerre.

Maxime Trocmé

Avons-nous déjà eu d'autres approches de monétarisation d'externalités que la taxe carbone ?

Christophe Gobin

Dans la salle doit être présent un certain nombre de personnes en charge de chiffrage de projets. Vous savez qu'en région parisienne le prélèvement de sable de rivière est taxé. Cette monétarisation indirecte n'est pas visible, mais elle correspond à ce dont nous parlons, même si ce n'est pas présenté sous forme d'impact. À terme, nous le voyons bien au travers des discussions dans la presse économique sur la santé publique, la pollution due au trafic, de nombreux impacts seront monétarisés.

Intervenant

Pour compléter la réponse de Christophe, certains paramètres retenus dans ces empreintes ont une valeur économique à peu près évidente parce que la monétarisation est stabilisée depuis longtemps, lorsqu'il y a échange de marchandises par exemple. Sur d'autres, nous pouvons penser que la valeur sera un peu plus subjective et dépendra de la sensibilité de celui pour qui nous travaillons. Une perte de biodiversité n'aura pas la même valeur pour tel maître d'ouvrage que pour tel autre. Que vaut l'oiseau en moins ou le pique prune en moins ? Personne n'en sait rien. Nous travaillons sur le sujet, c'est la prochaine étape. L'idée est que ce serait au maître d'ouvrage ou à l'aménageur de donner aussi sa sensibilité sur les différents critères.

Christophe Gobin

Je ne voudrais pas que tu compliques la chose en disant que nos outils vont aussi dépendre de l'évaluation du maître d'ouvrage. La monétarisation est assez irrémédiable. Nos systèmes économiques relèvent de protocoles avec taxation.

Un participant

Le niveau de la taxe carbone aujourd'hui n'est certainement pas au niveau de ce qu'elle devrait être.

Christophe Gobin

Je ne parle pas de niveau, sauf qu'elle sera fixée pour tout le monde de la même manière. J'étais dans un esprit de simplification pragmatique. Nous allons vers une globalisation de cette pratique.

Joëlle Giton, GDF-SUEZ France

Je ne sais pas si c'est à nous que vous pensiez quand vous parliez d'EDF.

Je suis d'accord avec vous, je pense que l'enjeu est dans l'évaluation de ces données en termes de monétarisation. Il faut développer – et c'est là toute la qualité du travail qui est à faire – un outil qui puisse être reproductible et le plus objectif possible. Cela va passer par la connaissance de données les plus objectives. L'enjeu est comment allons-nous valoriser en euros ou sous une autre forme des objets comme la biodiversité, la santé. Nous avons cherché à valoriser les accidents du travail. Nous devons tous pouvoir nous appuyer sur des bases de données les plus partagées possible pour que l'usage de ces outils soit sans ambiguïté par rapport à l'attente du maître d'ouvrage. Ce point est important à traiter.

Christophe Gobin

Tout à fait, mais comme nous introduisons une controverse – et je trouve cela intéressant –, j'ai une formule qui va choquer Louis, mais est-ce que vous avez déjà rencontré un coût dans la rue ? Le coût est un protocole. Nous devons être très clairs. Nous imaginons que des coûts ont une réalité intangible. C'est surtout que les connaissances nous permettent de faire évaluer les différents paramètres constitutifs et le protocole d'accord sur la monétarisation est encore un autre phénomène. Il faut bien dissocier les deux. En France, nous avons trop tendance à vouloir mettre un coût sur chaque chose et c'est la raison pour laquelle l'isolation par l'extérieur faite par Saint-Gobain vaut trois fois le prix de l'isolation extérieure en Allemagne faite par la même entreprise. C'est assez surprenant.

Maxime Trocmé

Merci beaucoup pour cette introduction.

Intervenant

Il y a l'aspect régionalisation. L'épuisement des ressources naturelles, par exemple les granulats pour nos industries, n'est pas le même selon les combustibles. C'est normalement censé être pris en compte dans le prix de transaction.

Christophe Gobin

Je ne veux accaparer la parole, mais vous avez dans les problèmes industriels que nous posons, nous refusons d'avoir des valeurs de référence unifiées au niveau européen. Vous avez vu que le radar se développe par région. Nous devons sur battre sur l'idée de comparer

cela à des valeurs régionales et non des valeurs absolues qui n'ont aucun sens. C'est un vrai challenge industriel.

Maxime Trocmé

Merci beaucoup pour cette introduction. Nous passons maintenant à la présentation d'Efficacity.

L'institut d'excellence Efficacity : une approche collaborative et intersectorielle

Claude Arnaud, *Directeur du développement chez Transdev et Président d'Efficacity*

Bonsoir et merci de m'avoir invité. Je vais essayer de vous présenter rapidement ce qu'est Efficacity.

Efficacity est un projet qui est encore au stade de projet, qui a été initié à la demande de l'État, en l'espèce le commissariat général aux investissements, dans le cadre du grand emprunt ou des investissements d'avenir lancés il y a trois ans environ.

Nous avons répondu à une sollicitation qui concernait la thématique énergétique au sens de l'énergie décarbonée. Le cahier des charges proposé était d'imaginer des solutions techniques et technologiques de recherche – vous allez voir dans quel cadre – sur la thématique de l'économie d'énergie et de la transition énergétique. Nous n'employions pas ce terme il y a trois ans, mais l'idée est la même.

Nous avons constitué un groupement pour répondre à la thématique de l'énergie en ville, autour de la problématique de la ville durable. Le cahier des charges précisait un certain nombre de données. La première était le souhait du gouvernement d'aider des opérations par le biais de subventions publiques dans le cadre du grand emprunt à condition qu'il y ait des retours sur investissement. Ces retours sur investissements sont essentiellement de la création d'emploi et de la création de filières techniques ou technologiques. L'essentiel des

réponses est plutôt cadré industrie, technologie, technique, la création d'emploi venant plus tard.

Nous voulons faire de la recherche-action, de la recherche appliquée, de la recherche pratique qui débouche sur de la recherche qui s'autofinance. Vous allez être subventionnés, mais au bout d'un certain temps, il faut que vous démontriez que vos opérations se rentabilisent. Voilà l'essentiel du cahier des charges. Dans la thématique ville durable, organisation énergétique de la ville, nous avons pris le pari de travailler sur la grande échelle de la ville et non pas l'échelle du bâtiment ou du quartier.

Comment procédons-nous ? Pourquoi sommes-nous partis là-dessus ? Tout simplement parce que la ville, l'espace urbain, représente les deux tiers des consommations énergétiques et la moitié des gaz à effet de serre. Pour vous donner un chiffre précis, la consommation totale d'énergie en France des villes de plus de 200 000 habitants a coûté trente milliards d'euros l'année dernière, si je considère l'éclairage, le chauffage, le fonctionnement de la ville, les métros, les tramways, tout ce qui consomme de l'énergie, hors déplacement automobile. C'est considérable. Nous essayons de nous attaquer à un problème qui est, grâce aux recherches et à tout ce qui existe – parce que cela fait trente ans que nous faisons de l'économie d'énergie – que peut-on faire à une autre échelle. Nous nous demandons ce qui fonctionne à l'échelle d'un bâtiment. Vous construisez des bâtiments BBC chez Vinci, vos concurrents également depuis plusieurs années. Nous savons faire. Est-ce que ce qui fonctionne pour un bâtiment fonctionne pour une ville ? Est-ce que cela fonctionne pour un quartier ou pour une ville ? Que pouvons-nous faire pour une ville qui existe déjà ? Que pouvons-nous faire d'autre que dire que nous allons changer les fenêtres des habitations, ravaler en mettant de l'isolation. Nous avons commencé à faire tout cela, un certain nombre d'effets ont été produits avec une relative efficacité.

Il existe deux approches : la première est le changement de dimension qui est la ville et notamment la ville existante. C'est un changement d'échelle. La deuxième est de prendre en compte non seulement l'ensemble du site urbain bâti existant ou en rénovation ou en construction, mais aussi l'ensemble de la mobilité et l'ensemble de la façon dont nous vivons, nous travaillons dans un espace urbain. Nous sommes dans une action totalement dynamique. Vous savez parfaitement construire un bâtiment BBC, mais si ce bâtiment – et cela rejoint ce que Christophe vient de dire – vous le construisez au milieu de nulle part, sans tenir compte des entrées et des sorties, de la façon dont ce bâtiment va être utilisé par les gens qui y travaillent, qui y habitent ; si nous ne tenons pas compte de l'environnement dans lequel il est installé et il va fonctionner, le bilan et notamment le bilan carbone en unité est peut-être extrêmement différent du bilan initial prévu, surtout quand nous ne parlons même plus d'un bâtiment BBC, mais d'un bâtiment éco positif ou pouvant avoir un bilan énergétique supérieur en production par rapport à sa consommation. C'est cette approche combinée de la ville et de la dynamique et du changement d'échelle, qui sont les deux

paramètres majeurs, qui donne un caractère novateur à un projet comme celui-ci, si nous considérons que l'économie d'énergie n'est plus un problème nouveau.

Nous avons donc une ambition – le terme est un peu fort – changer l'efficacité énergétique de la ville. Diable ! J'espère que nous réussirons quelque chose. Ne pensons pas que nous allons faire une révolution mondiale avec notre histoire. Ce qui est néanmoins intéressant, c'est un objectif qui est de se mettre dans la droite ligne de ce que l'Europe, et la France en particulier, ont accepté de signer un engagement de baisser nos consommations de 20 % en 2020 sur une base 1990 et un facteur 4 en 2050. Nous en sommes aujourd'hui assez loin. Pouvons-nous prendre aujourd'hui le pari de rattraper une partie de ce retard ? Nous n'avons pas la prétention d'aller jusqu'à 20 %. C'est l'enjeu, ce que la France s'est engagée à faire, mais si nous en faisions déjà la moitié, nous aurions sacrément bien travaillé. Appliqué au trente milliards, cela fait trois milliards par an. Je reviendrai en fin de séance sur cela et nous rebouclerons sur la présentation de Christophe qui a ajouté une slide.

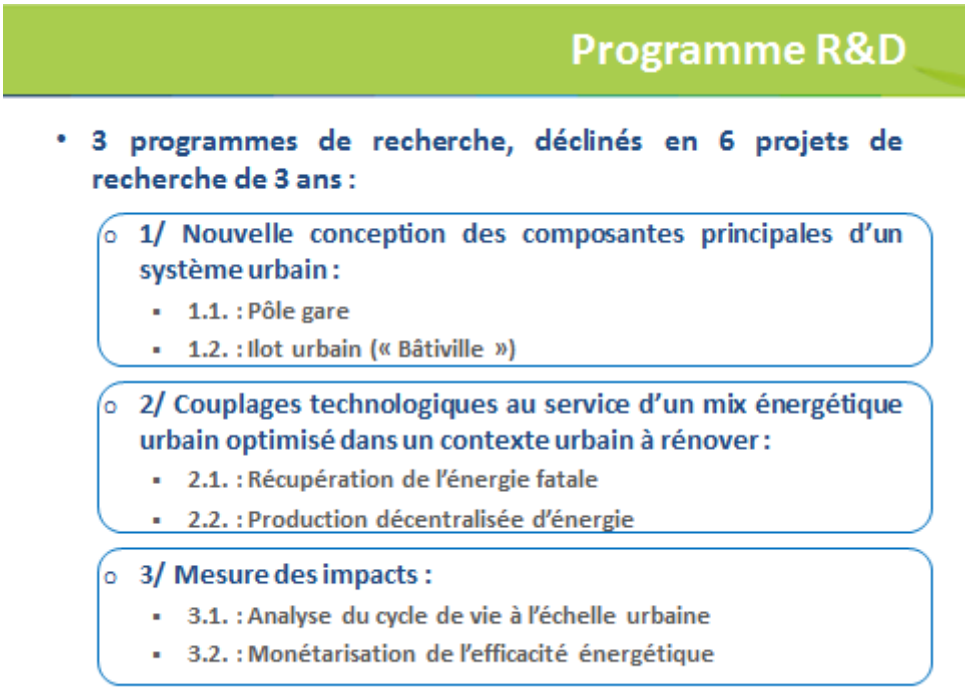
Concernant le groupement, il y a six grandes entreprises qui sont Veolia, EDG, GDF Suez, IBM, RATP et Vinci qui sont tous dans leur domaine des leaders mondiaux.

Nous avons 12 sociétés d'ingénierie, avec des gens comme Systra, Egis, Setec, qui sont des entreprises qui ont pignon sur rue dans le domaine de l'ingénierie et notamment de l'ingénierie urbaine.

Enfin, nous comptons des représentants du monde académique, dont les écoles qui constituent l'essence même de ParisTech, les universités de l'Est parisien et les deux grands instituts, l'IPSTAR pour les transports, le CSTB pour le bâtiment.

Quelle est l'originalité de ce groupement ? Les grandes entreprises se sont rendu compte que seules, elles arrivaient à certaines limites. Ensemble, elles peuvent mieux jouer. C'est assez rare. Le montage public-privé, entreprises-universités, entreprises-écoles, entreprises-

monde académique, n'est pas nouveau. Mais s'attaquer à un problème qui affronte de nouvelles dimensions, une nouvelle échelle, c'est aussi assez rare. Il faut le souligner – c'est le quart d'heure publicité –, que des groupements de ce genre ne sont pas pléthores. Nous allons fonctionner de cette façon pendant dix ans.



Comment avons-nous construit tout cela ? Nous laissons le groupement et revenons sur le fond des choses et notamment la partie technique. Pour des raisons tactiques, car il faut que ces groupements soient conformes aux règles de Bruxelles, nous avons découpé notre programme en prenant les trois premières années et en définissant trois types d'actions :

- La première est de repenser le composant, tel que Christophe l'a dit, du système urbain dont le premier élément est quand même le bâti actif, utile. Nous avons réalisé deux schémas. Nous avons réfléchi à la gare parce que Grand Paris, grand emprunt, et que les soixante-dix gares à venir dans les dix prochaines années du Grand Paris constituent un potentiel intéressant. Les grands centres commerciaux, tous les grands hubs urbains dans lesquels nous trouvons de la concentration peuvent relever de ce premier type de programme ;

- Le deuxième est ce que Vinci a imaginé avec le terme Bativille. C'est un mix entre un bâtiment ou un groupe de bâtiments et un quartier. Cet îlot est repensé dans l'optique d'un système dynamique et non pas uniquement la construction statique tel que nous le raisonnons un peu trop souvent.

La première vague de travail concernera les composants élémentaires de la structure de la ville. Les programmes seront beaucoup plus technologiques et se baseront sur des domaines existants et en particulier des villes existantes. Ces deux programmes visent à définir ce que

nous pouvons faire en termes de récupération d'énergie fatale, qui est de toute façon consommée, non récupérée, et de savoir s'il y a des couplages possibles. Prenons un exemple : cela fait trente ans que nous savons récupérer de l'énergie électrique sur un métro au freinage. Les trains, les métros et les tramways récupèrent de l'énergie. Ils re-fabriquent de l'énergie et la renvoient dans la ligne et cela fonctionne. Nous sommes même capables de récupérer de l'énergie sur un camion, nous construisons des moteurs hybrides automobiles. Mais toute l'énergie thermique, elle, n'est jamais récupérée. Le métro est un énorme ventilateur, c'est une énorme zone de déperdition d'énergie non récupérée.

Est-ce que cette énergie est facile à récupérer ? Comment peut-on les coupler ? Prenez par exemple le problème de la voiture électrique. Aujourd'hui, la voiture électrique – alors entre les bagarres des constructeurs sur les bornes, les normes de recharge, etc., passons tout cela – est une voiture avec, pour l'essentiel, des moteurs à courants continus alimentés – certains ont pris des moteurs alternatifs – et une batterie est un stockeur à courant continu. Un panneau solaire est un panneau qui fabrique de l'électricité en courant continu. Les réseaux de distribution d'énergie sont tous des réseaux alternatifs. La déperdition d'un convertisseur alternatif continu ou continu alternatif est un facteur de perte d'énergie considérable. Il va bien falloir que nous réinventions des réseaux à courant continu locaux si nous voulons être optimisés. C'est ça qui est derrière tout ça.

La troisième chose est exactement ce que Christophe a présenté : si nous ne sommes pas capables de le mesurer, si nous ne sommes pas capables de faire la preuve que telle chose produit 3 % d'économie ou 10 % ou 15 %, nous n'aurons aucune crédibilité et nous n'aurons pas plus avancé.

Alors il faut jouer sur deux aspects, évidemment l'approche en ACV conséquentielle – mais vous verrez la suite parce que vous n'avez rien vu, il ne vous a pas tout dit tout à l'heure – et puis évidemment il faut monétariser. Cela a été abordé dans les questions notamment. Quel est le problème ? Le problème n'est pas seulement de dire combien vaut l'économie d'énergie. Mais est-ce que cette économie d'énergie est transformable réellement en euros et est-ce que je peux remettre ces euros je peux dans la machinerie économique de la ville ou d'un quartier ou de l'économie générale dans laquelle nous sommes. Cela est un peu plus nouveau parce que cela fait des années que nous nous contentons de dire une lampe à basse consommation fait une économie d'énergie, bien sûr. Vous avez un retour sur investissement entre la lampe à incandescence que nous connaissions et les lampes à économie d'énergie. Il y avait un surcoût d'investissement, il y a un retour investissement par le gain que vous avez. Nous savons à peu près monétariser cela.

À grande échelle, savons-nous recycler l'économie d'énergie comme étant un facteur de développement et un facteur de croissance et un facteur de relance de la croissance ? C'est cela l'enjeu derrière. Quand nous parlons de trois milliards par an sur le monde urbain français, nous commençons déjà à nous dire « non d'un chien, il y a peut-être quelque chose

d'intelligent à imaginer ». C'est non seulement monétariser, mais de se demander comment je le recycle dans le système. L'État est à trois milliards près aujourd'hui, il me semble.

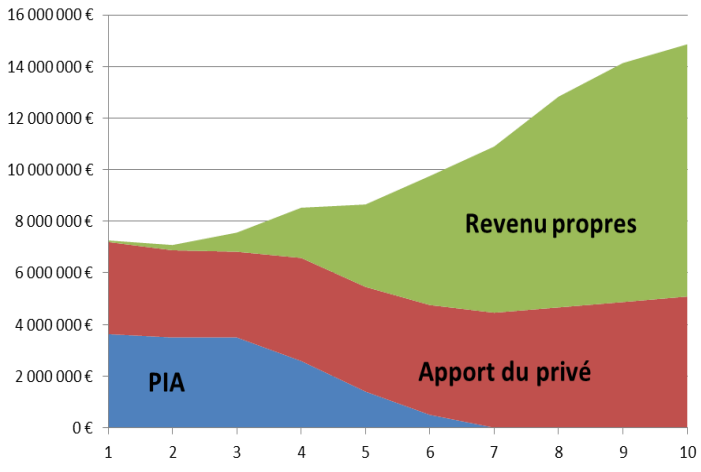
Des sources de revenus diversifiés

- **7 sources de revenus :**

Produits / services	Description
Bases de données	Vente d'un droit d'accès à une base de données homogène entre l'ensemble des acteurs de la filière permettant d'élaborer des modèles d'optimisation énergétique
Modèles d'optimisation énergétique	Vente de modèles d'optimisation de la production et de la consommation énergétique dans un environnement donné à des éditeurs de logiciels
Systèmes pour l'évaluation	Vente de protocoles et de méthodologies de mesure d'indicateurs de durabilité de la ville (mesure des impacts environnementaux, sociétaux et économiques de l'efficacité énergétiques urbaine)
Outils pédagogiques	Vente de contenus pédagogiques (supports pour la formation continue et qualifiante) pour l'enseignement des bonnes pratiques énergétiques urbaines
Aides européennes pour la R&D	Perception d'aides européennes au titre de la R&D collaborative (PCRD,Eureka,...)
Recherche contractuelle et expertise	Vente de prestations à l'ensemble de la filière (acteurs partenaires ou non d'Efficacity)
Redevances	L'objectif est de commercialiser le label « Efficacity Insight » destiné à certifier la performance énergétique, à toutes les échelles (depuis les technologies dans un premier temps jusqu'à l'échelle de la ville à long terme)

Je ne m'étends pas sur les revenus. Efficacity est une entreprise que nous créons. Au début, elle est aidée par les entreprises et par l'État à travers le programme d'investissement d'avenir. À la fin, il faut que nous trouvions nos ressources nous-mêmes avec des ventes de logiciels, des ventes de formations. Nous voudrions créer un label baptisé Efficacity insight et pas uniquement inside, cela fera un peu les deux. Une des nouvelles dimensions est encore une fois, si je résume, l'échelle urbaine, la dynamique et le comportemental. Il n'y aura pas d'économie d'énergie durable si nous ne changeons pas nos comportements. Facile à dire, pas si simple à faire durablement. Voilà les enjeux.

Nous ne parlerons pas du fonctionnement de la gouvernance. Le bleu représente l'aide de l'État, en rouge des entreprises, et en vert, c'est ce qui va falloir chercher. Les trois premières années, nous serons dans un fonctionnement de recherche classique publique privée. Au fur et à mesure, il va nous falloir trouver nos propres revenus, nos propres ressources.



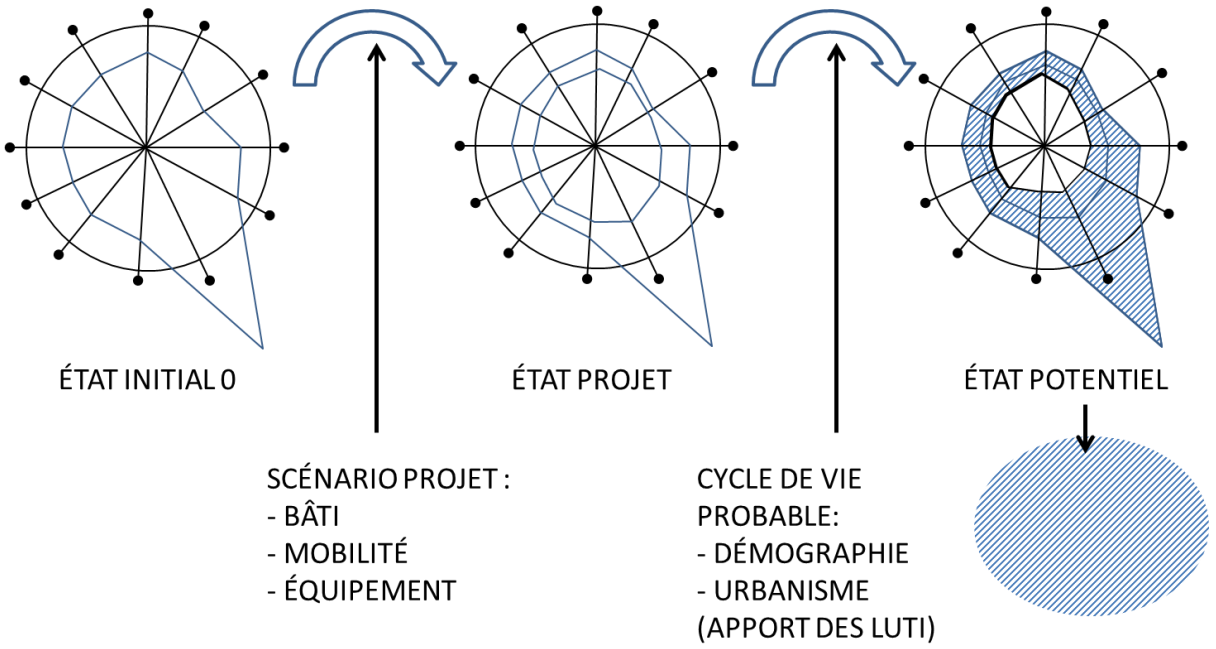
Alors, juste un petit focus rapide sur les six programmes. Les deux premiers concernent les composants urbains. Sur le pôle gare, nous n'allons imaginer une gare. Absolument pas. Nous allons imaginer comment nous pouvons dans des gares qui vont être construites, et notamment les nouvelles gares du Grand Paris, et dans les gares existantes, récupérer de l'énergie possible et coupler d'énergie avec des réseaux existants. Une gare est un point de concentration dans lequel il y a évidemment des trains, mais en général, il y a un métro ou un tramway, ou des autobus à proximité, il y a des parkings. Tout cela représente autant de consommateurs d'énergie et d'émetteurs de gaz à effets de serre. Comment peut-on capter cette énergie, la recycler, la réutiliser, la réinjecter à l'intérieur des réseaux de transferts d'énergie existants ? Comment pouvons-nous mesurer tous ces transferts ?

Pour Bâtiville – et cela reprend en grande partie ce que Christophe a présenté précédemment – nous avons pris comme option de prendre un leader par projet et chaque leader est un des six membres des entreprises de tête. La RATP dirigera le projet de la gare ce qui n'étonne personne, Vinci de la construction du Bâtiville ce qui n'étonnera personne, les deux énergéticiens EDF et GDF sont sur les deux programmes technologiques, qui sont l'un pour la récupération et l'autre sur la production décentralisée. Il se trouve qu'ils pourraient parfaitement s'inter changer, naturellement. D'ailleurs, ce sera probablement le cas. Les apports en personnel, en chercheurs se répartiront de manière à peu près homogène sur l'ensemble des programmes.

Les deux derniers travaillent sur l'analyse du cycle de vie. Ce sont les ingénieristes et IBM qui se partagent cela. La question de fond est comment constituer les bases d'information et les bases de données. La deuxième question est quelle métrique, quels paramètres de mesure de manière à ce que ce ne soit pas contestable ? Il faut que ce que nous mettrons sur le marché à un moment ou à un autre ne puisse pas être contesté. La deuxième partie de l'analyse du cycle de vie est la monétarisation et sa conversion. Quand nous disons « permettre le transfert valeur d'un intervenant à un autre », cela revient à se demander si l'économie qui est faite quelque part est utilisable ailleurs parce qu'il y a un besoin et notamment un besoin d'investissement. A-t-on capacité à faire ce transfert-là. Ce qui suppose derrière des actions en termes juridiques, en termes contractuels. Il faut voir après que dans la vraie vie, il va bien falloir que nous soyons capables de mesurer tout cela et de le contractualiser.

Nous arrivons à la fin de la présentation qui reprend en partie ce que Christophe vous a présenté. Nous sommes dans un état initial – vous retrouvez son schéma –, avec un projet comme cela. Nous tenons bien compte des bâtiments, mobilité, équipements. Nous sommes bien dans ce qu'on a dit, c'est-à-dire des objets existants ou à construire ou à rénover et dans la dynamique. La mobilité est la dynamique. Nous sommes dans un système qui vit, nous avons un curseur de temps et un curseur aussi quasiment de temps réel ; nous avons du temps long et du temps réel. Nous passons de l'état initial qui est par exemple un groupement d'immeubles dans un quartier qui existe. N'oublions pas que quand nous

raisonnons en mobilité, nous sommes forcément sur une échelle qui n'est plus la même que celle des bâtiments. La mobilité donne tout de suite une échelle en termes de géographie, de distances, qui dépasse largement le quartier ; vous habitez rarement à côté de là où vous travaillez, vous n'avez pas tous vos loisirs à côté de là où vous habitez, vous n'avez pas vos courses, supermarchés exactement à côté d'où vous vivez, travaillez, etc. Nous avons des déplacements qui sont dans des échelles géographiques toujours beaucoup plus importants. C'est pour cela que la mobilité est d'abord un consommateur considérable d'énergie, que l'intégration de la mobilité dans la conception de la ville est une dimension très importante.



Le projet évolue par rapport à l'initial. Vous retrouvez exactement le schéma qu'il a présenté tout à l'heure et l'analyse du cycle complet en tenant compte de l'évolution. Nous partons après sur le temps long, la démographie, le changement de l'urbanisme, les changements d'organisation de la ville. Cela va nous donner un projet final qui est le quasi-cercle patatoïde noir. La différence entre les deux est l'économie. C'est cette économie qu'il faut que nous évaluions avec la métrique, et que nous sachions monétariser avec le modèle de monétarisation en considérant que cette monétarisation soit recyclable, ce que nous avons écrit là « à répartir ». Merci.

Maxime Trocmé

Nous avons le temps de prendre une ou deux questions.

Anne de Bortoli, *LVMT École des Ponts ParisTech*

Je n'ai pas bien compris l'objectif des moins 10 % de consommation d'énergie d'ici 2020. J'imagine que c'est l'objectif du programme. Aujourd'hui, par exemple, à quelle réduction

est-on arrivés ? Pouvez-vous expliquer d'où viennent les trois milliards d'économies par an ? Merci.

Claude Arnaud

Je n'ai plus exactement le chiffre en tête, mais en 2013 par rapport à 1990, nous devions être à +15 % en France. Sur la trajectoire des – 20 %, nous avons déjà 10 % ou 15 % de retard.

Intervenant

Nous nous sommes trompés de sens.

Claude Arnaud

Les engagements que nous prenons ne sont pas sanctionnés en général. Personne ne vient jamais vous dire que vous n'avez pas rempli le but. Il n'y a que dans les entreprises que nous sommes sanctionnés ; le monde, lui, n'est pas sanctionné. C'est un état de fait. Qu'est-ce que le - 10 ? Il est prétentieux de dire que nous allons rattraper la trajectoire qui est déjà durablement abîmée. Quand nous prendrons un projet, nous ferons une évaluation. C'est le schéma de Christophe ; nous faisons un état zéro. L'état zéro consiste à dire tel quartier, tel système consomme tant parce que nous aurons imaginé une métrique. Si nous avons imaginé une bonne métrique, nous aurons une valeur. Cette valeur sera notre référence. Et de là, il faut que nous arrivions avec les méthodes, avec un certain nombre de choses et tous les projets et recherches qui seront faites, à faire – 10 % par rapport à cette référence-là. C'est notre ambition pour essayer de nous recaler sur une nouvelle trajectoire. Mais nous n'avons pas la prétention de rattraper ce que nous n'avons pas tout à fait fait de 1990 à 2013.

Pour aller encore un peu plus loin, nous avons probablement en matière de prévisions des marges d'erreur assez sensibles sur les évolutions démographiques, les évolutions liées à l'économie générale et aux crises. En 1990, nous étions plutôt dans un monde de croissance et nous n'avions pas franchement prévu la décroissance. La décroissance ne conduit pas forcément à de l'économie d'énergie. Un peu, en termes industriels, mais pas tant que cela en termes de consommation urbaine.

Les trois milliards représentent 10 % des 30. La consommation d'énergie urbaine en France sur des villes de plus de 200 000 habitants en euros – pas en mégawatt heure – en 2011-2012 se monte à 30 milliards. Cela concerne l'éclairage public, le chauffage des bâtiments, le transport public, le fonctionnement de l'ensemble de notre environnement. Un enjeu de 10 %, c'est 3 milliards. C'est comme cela que nous le calculons. Cet exercice n'a d'autre intérêt que de définir l'ampleur de ce dont nous parlons. Nous parlons quand même de choses relativement significatives.

Maxime Trocmé

Avez-vous une autre question ?

Nathalia Kotanicoleva

Je viens aussi du LVMT. J'ai une question à la fois pour vous et pour Monsieur Gobin. Si je comprends bien, il faut prévoir l'évolution de la ville à long terme pour pouvoir prévoir le cycle de vie. Combien de temps à l'avance sommes-nous censés prévoir cette évolution ? Je dis cela parce que dans l'architecture en ce moment, nous avons plutôt une approche projet. Nous intervenons de manière locale pour répondre à des besoins à un moment donné. Nous faisons cela parce que l'expérience montre que nous n'arrivons pas à prévoir l'évolution.

Claude Arnaud

Je ne sais pas très bien répondre. Christophe qui est plus savant que moi y répondra.

Que puis-je dire ? Nous avons deux réflexions : tout d'abord une réflexion technique. Si nous prenons par exemple un quartier, nous allons mesurer l'état de ce quartier en termes de consommation, nous parlons d'énergie et de consommation d'énergie. Nous faisons un état zéro, un état de référence. Ne soyons pas prétentieux, nous ne partons pas de zéro, mais de choses qui existent dans toutes les entreprises, universités, écoles, entreprises d'ingénierie, etc. Il y a des milliers de choses qui existent dans le domaine de l'économie d'énergie. Nous partons avec tout cet acquis plus évidemment les résultats des recherches qui vont être menées.

Reprenons ce quartier. Que faut-il ? Il faut des méthodes, des logiciels, un certain nombre d'approches qui auront été menées dans les prochaines 2, 3, 4 ou 5 prochaines années avec toute cette équipe qui va travailler. J'ai oublié de dire que nous allons partir avec une quarantaine de chercheurs en 2014 pour arriver à une centaine dans les dix ans. C'est ça la volumétrie. Des milliers de chercheurs en France et dans le monde travaillent sur ces problématiques-là. Il ne faut pas penser que nous allons être les révolutionnaires, absolument pas. Nous essayions simplement d'être rationnels et d'avancer nos pas.

Pour arriver à quoi ? À dire si dans ce quartier dont nous avons fait la mesure du référentiel, nous pouvons, en faisant telle et telle chose, gagner 3 %, 5 %, 6 %, 10 %, 12 %, quelque chose. Fixons-nous un objectif et montons un projet ! Efficacity ne sera pas le réalisateur, mais un système qui va imaginer des méthodes, des outils, une réflexion, des logiciels, etc. Après il va bien falloir monter des projets. Pour atteindre ce niveau d'économies, il va falloir investir. Nous devrons bien entendu être obligés d'isoler les bâtiments. Quand vous allez faire de la récupération d'énergie avec des pompes à chaleur, que vous allez la réinjecter dans les réseaux, cela demandera de la technique, de la technologie, des investissements. '

Nous monterons des projets que nous devrons chiffrer, mais dont nous pourrons évaluer l'efficacité grâce aux outils de mesure. Nous nous basons sur des temps classiques, entre

trois et cinq ans. Je reviens à votre question, puis je passe la parole à Christophe –. Oui il faut aussi que nous ayons une projection à temps long. Bien entendu, puisque vous savez qu'en France aujourd'hui – vous ne le savez que trop bien ici – nous renouvelons 1 % du parc par an. Nous aimerions augmenter cette cadence à 2 %, ce serait génial. Cela ne fait jamais qu'une durée de vie de cinquante ans en moyenne. C'est déjà considérable. L'évolution de la ville se fait forcément sur un temps très long. Raisonnons en deux temps : des projets qui s'inscrivent dans nos schémas classiques d'entreprises, entre trois et cinq ans et ayons cette réflexion. C'est l'intérêt du mélange entre entreprises et monde académique d'avoir une projection à dix, vingt, trente ans, de voir comment les choses vont évoluer et comment nos programmes devront aussi évoluer. Et les outils que nous délivrerons devront aussi évoluer.

Intervenant

Très rapidement, nos sciences ne sont pas déterministes. L'idée de la projection à long terme est de savoir si les technologies utilisées dans le projet projeté n'obèrent pas des gains potentiels d'économie ultérieure. L'idée d'Efficacity est de faire des choix qui soient compatibles avec des rénovations à terme également, et non pas de bloquer le gisement de gains. Les « lutis » (terme incompris) ne sont pas déterministes en disant « c'est ça l'avenir », mais nous sommes capables de vous montrer que nous ne bloquons pas un gain ultérieur dans le projet que vous êtes en train de faire.

Claude Arnaud

Oui, nous pourrions dire que cela peut être aussi des outils d'aide à la décision, pour des maîtres d'ouvrage.

Maxime Trocmé

Il n'y a plus d'autres questions ? La transition est toute faite avec la présentation suivante. Nous parlons d'outils et de référentiels sur ces questions de monétarisation des externalités. Charlotte ROUX va nous présenter les premiers travaux de la chaire d'éco-conception concernant cette analyse de cycle de vie conséquentiel, la CLCA ou la Vinci LCA, comme vous voulez.

Les nouveaux outils d'éco-conception (ACV dynamique et approche conséquentielle) et leur application à la Cité Descartes

Charlotte Roux, *Ingénieur de recherche, MINES ParisTech*

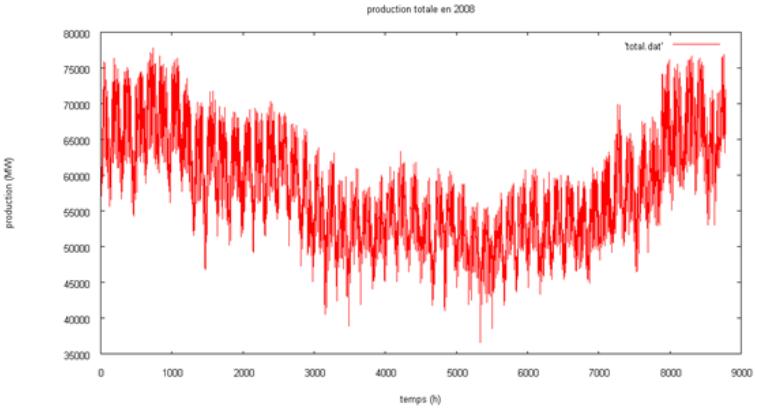
Bonsoir à tous. Je suis ingénieur de recherche à l'École des mines. Je vais vous présenter les méthodes d'ACV dynamique et d'ACV conséquentielle qui ont été développées avec un nouvel enjeu qui s'ajoute à la série, qui est de prendre en compte les conséquences de ces décisions sur les secteurs économiques.

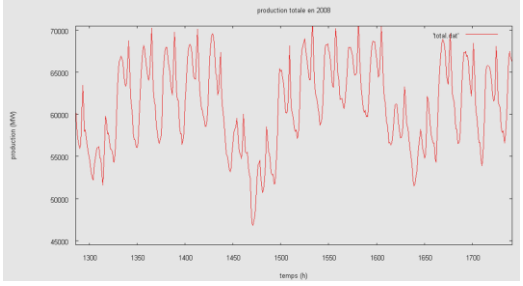
Je vais vous présenter les enjeux de façon très générale. Je reviendrai ensuite sur un exemple précis qui est le thème du réseau électrique sur lequel nous avons plus travaillé. Nous vous présenterons ensuite un modèle d'ACV dynamique qui a été développé lors de précédents travaux et une étude de cas sur la cité Descartes. Enfin en perspective, nous vous dirons comment nous souhaitons aller vers l'ACV conséquentielle, en particulier avec ce que j'ai appelé les méthodes marginales.

Les enjeux consistent à optimiser un projet et éviter qu'il y ait des déplacements de pollution vers d'autres secteurs économiques, ne pas faire de sub-optimisation comme nous pourrions l'appeler. Nous avons choisi la thématique de la relation entre le secteur du bâtiment et des quartiers avec les réseaux électriques.

Pourquoi on a pris cette thématique du secteur électrique ? Il existe de nombreuses interactions entre le bâtiment et le réseau électrique. Aujourd'hui, le secteur résidentiel tertiaire représente 60 % de l'électricité consommée. C'est le secteur qui va diriger la variation de la production.

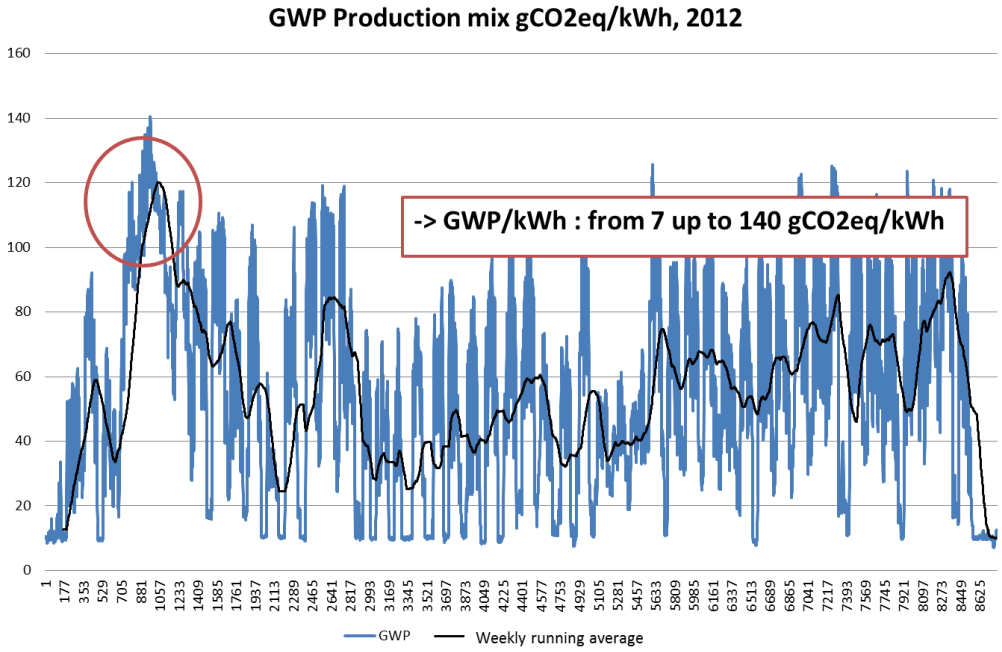
Nous remarquons effectivement une grosse variation saisonnière – c'est le premier carré que vous voyez – parce que nous avons des usages thermosensibles, le chauffage électrique. La production est très différente entre l'été et l'hiver.





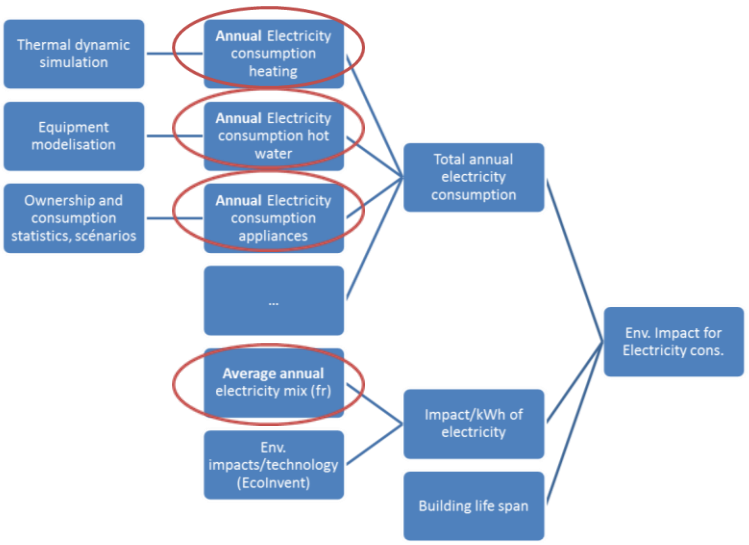
La variation varie aussi beaucoup sur la semaine – c'est le deuxième carré – avec les impacts des secteurs tertiaires, les services, la bureautique, et au cours de la journée en fonction des impacts du secteur domestique. Tout cela vient des bâtiments dont la conception va influencer ces paramètres. Le

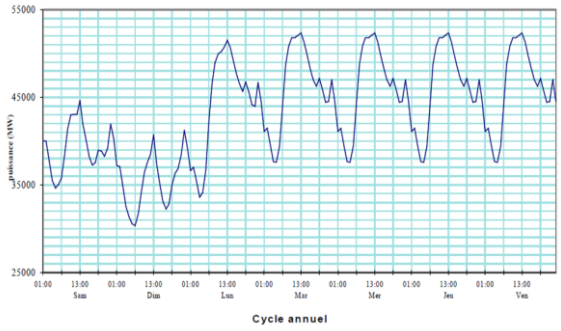
bâtiment a une très longue durée de vie et le renouvellement du parc est très faible. Nous avons par conséquent une réelle influence sur le système électrique qui va s'étendre à la fois sur le court terme et sur le long terme.

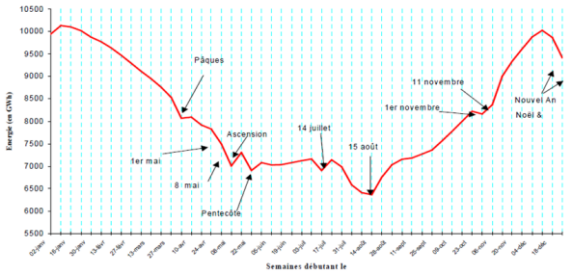


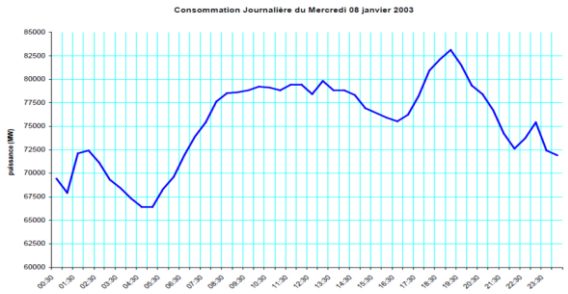
Si je prends un exemple de variation à court terme des impacts au niveau du réseau, voyons ici qu'en 2012 la variation de l'impact sur les gaz à effet de serre de la production du kilowattheure électrique, est passé d'un facteur de 1 à 20 au cours de la vague de froid de février. La consommation électrique modifie les impacts environnementaux.

Que faisons-nous dans une approche classique de l'ACV ? Nous calculons des consommations électriques sur le bâtiment, sur le quartier que nous croisons avec un mix de référence, le mix moyen français associé à des technologies et des impacts environnementaux. Nous intégrons cela sur la durée de vie du bâtiment pour obtenir les impacts de l'électricité.

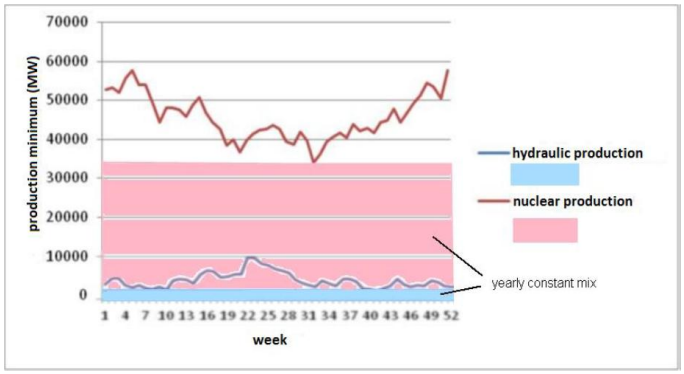




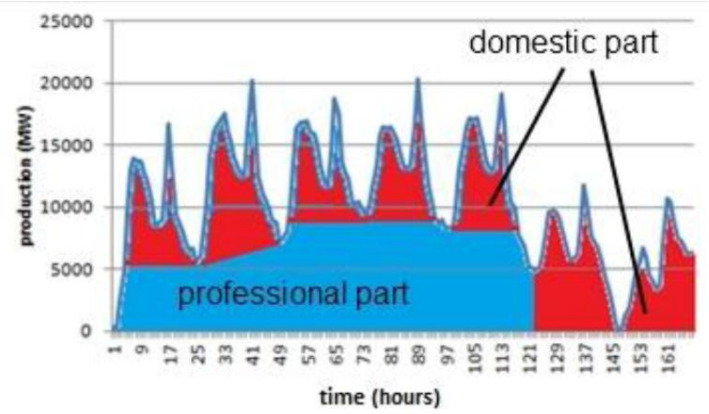




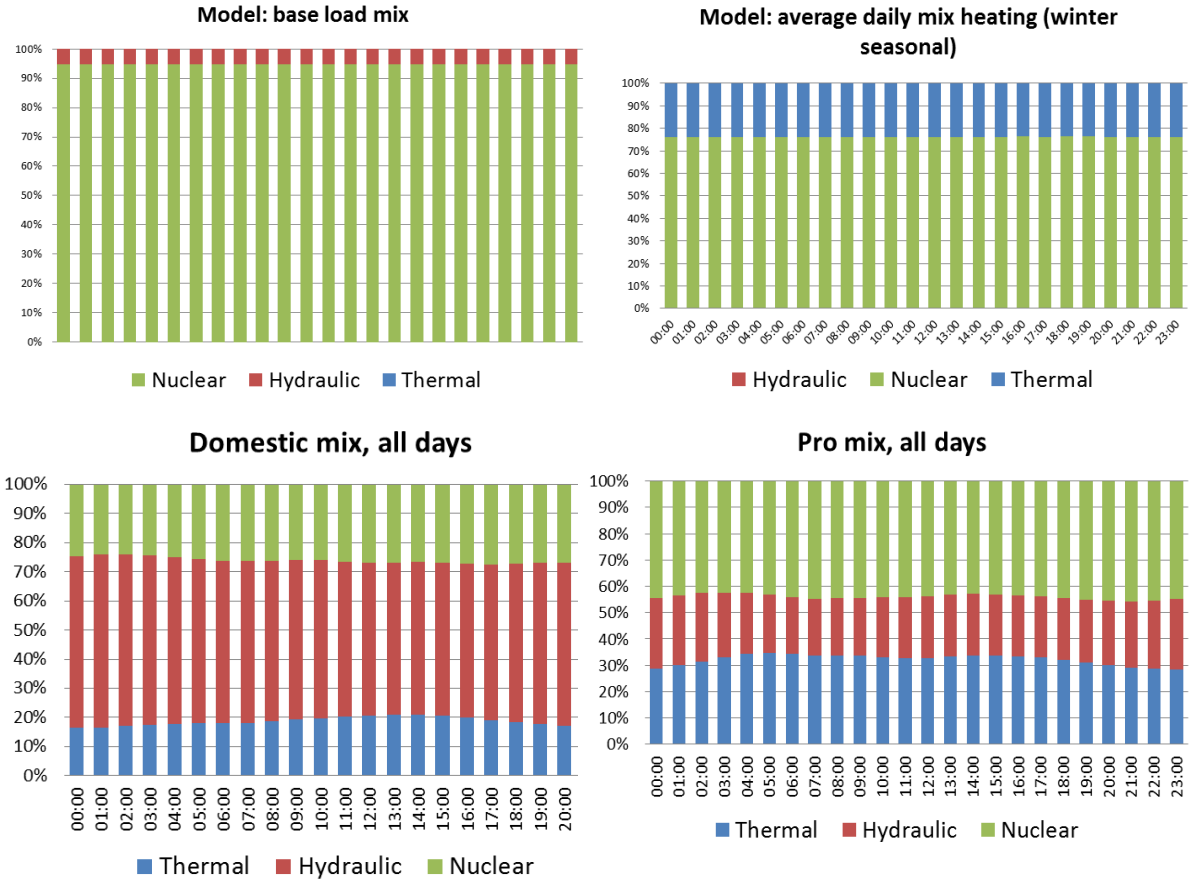
Nous rencontrons deux problèmes majeurs à cela. Les variations temporelles ne sont pas prises en compte – ce que je vous ai montré avant – ni les différents usages. Le chauffage n'est utilisé qu'en hivers, l'eau chaude dans les ballons à accumulation est utilisée toute l'année en heures creuses. Est-il logique de considérer que les impacts environnementaux de ces consommations électriques sont les mêmes ? C'est le travail qu'a mené Grégory Herfray dans le cadre de sa thèse de doctorat, un modèle de mix dynamique. Il a utilisé la variation saisonnière de l'électricité, les cycles hebdomadaires et les cycles journaliers obtenir le spectre de la production électrique, exprimer la production électrique comme une fonction périodique avec l'introduction d'une dépendance en température, car nous savons que ce paramètre est très important pour déterminer le niveau de la production électrique.



Cette production modélisée a été désagrégée selon différents types d'usages. Une production constante a été extraite sur l'année pour obtenir un mix constant annuel, basé sur l'hydraulique au fil de l'eau et le nucléaire, qui sont les technologies de base du système électrique, auquel nous pouvons faire correspondre des usages dans le bâtiment du type de l'eau chaude sanitaire à accumulation. Nous avons ensuite extrait de la production restante une production saisonnière basée sur les minimums hebdomadaires de production qui permet d'évaluer les usages saisonniers type chauffage et climatisation.



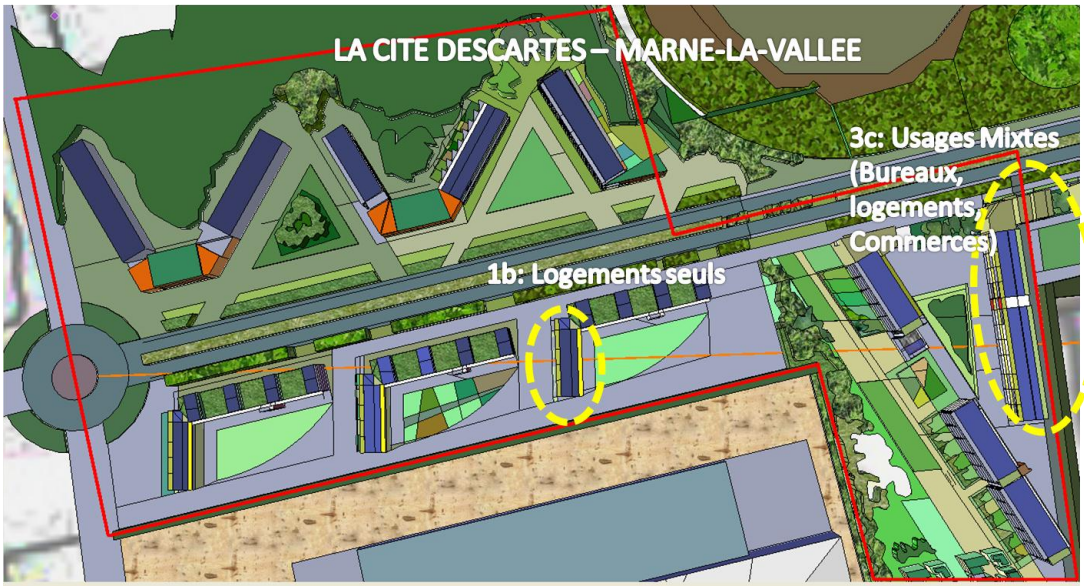
Enfin, la production restante a été divisée en deux : une partie représentant la consommation liée au secteur professionnel et une liée au secteur domestique, en faisant la différence entre les jours de la semaine et les week-ends. Ces approximations correspondent bien aux différents usages. Ces évaluations ont été réalisées heure par heure. J'ai agrégé les résultats sur une journée pour que vous puissiez voir le résultat.

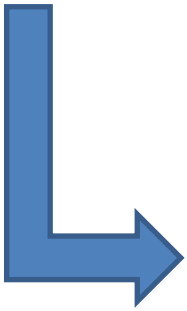


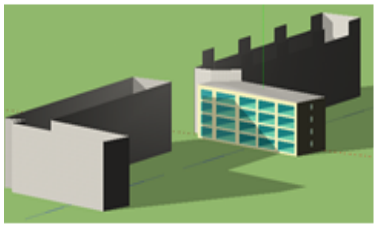
Vous avez ici le mix de base avec de l'hydraulique et beaucoup de nucléaire, le mix pour le chauffage avec du nucléaire et une partie thermique de plus de 20 %, le mix pour les usages spécifiques du secteur domestique avec une part de l'hydraulique qui est importante dans la gestion des pointes journalières et enfin le mix lié aux usages professionnels qui reprend les trois technologies. Quand je parle de technologie thermique, il s'agit du gaz, du fuel et du charbon. Ce modèle a été intégré dans Novaéquerre pour procéder à l'analyse de cycle de vie des bâtiments et des quartiers. Cela prend en compte en entrée les résultats des simulations thermiques dynamiques et des entrées réseau, les pertes en ligne et les impacts

environnementaux associés aux technologies pour donner en sorties la liste des douze impacts environnementaux sur la consommation d'électricité.

Comment prenons-nous en compte la production locale d'électricité ? Nous considérons qu'une production locale est d'abord consommée par le bâtiment et la production résiduelle est envoyée sur le réseau et résulte en impacts évités sur le réseau à l'heure où se déroule la production. Quel est l'effet de cette modélisation sur les analyses environnementales au niveau de la Cité Descartes ?





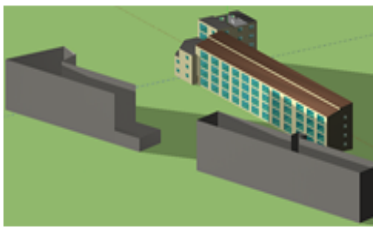


Partie 3c:
Logements Commerces et Bureaux

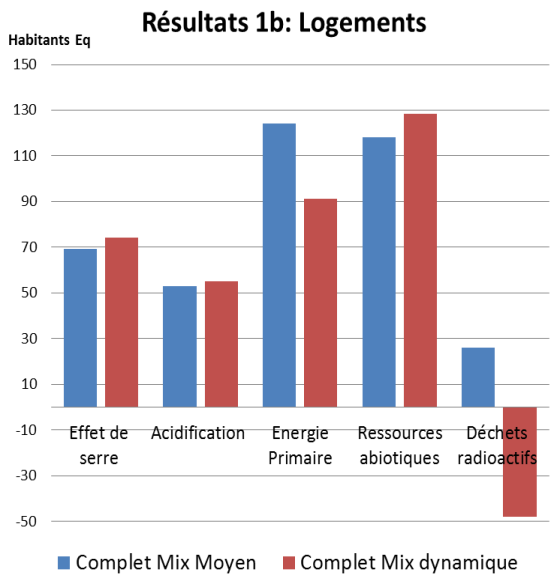
- Chauffage Bureaux 6kWh/m², Co-gé
- Climatisation Bureaux 4kWh/m²
- 881 m² PV
- 68.5m² thermiques
- Electricité spécifique: 14 W/m²

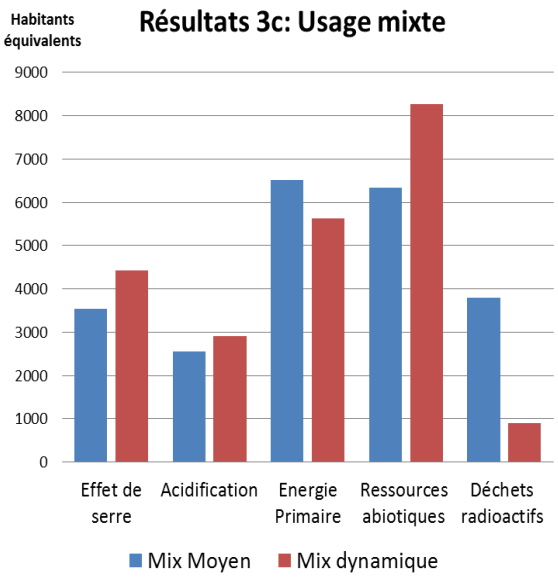
Partie 1b:
Logements seuls

- Chauffage 12kWh/m², Co-gé
- Pas de climatisation
- 191 m² PV
- 17m² thermiques
- Electricité spécifique : 20kWh/m²/an (dont 16kWh comptés dans les apports internes

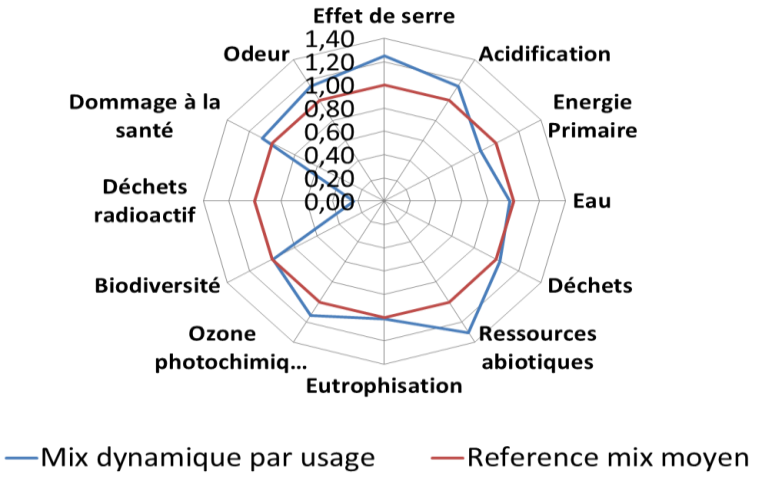


Nous allons prendre en exemple deux bâtiments, dont l'un est composé de logements et l'autre a des usages mixtes. Les commerces ne sont pas très présents dans ce bâtiment, mais nous avons des logements et des bureaux. Les deux bâtiments sont équipés de panneaux photovoltaïques et de solaire thermique, d'un système de cogénération pour le chauffage et l'ECS. Dans le cas des bureaux, nous retrouvons une climatisation. Les scénarios ne sont pas les mêmes pour l'électricité spécifique dans les deux cas.

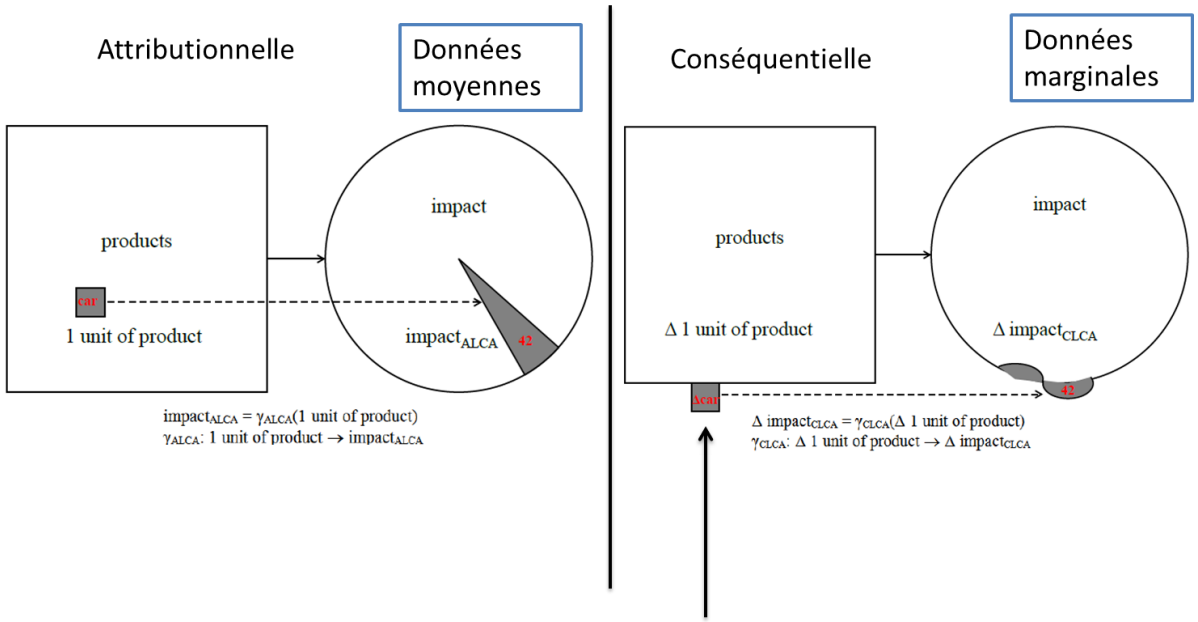




Voici les résultats exprimés en habitants équivalents pour que tous les impacts environnementaux soient exprimés dans la même unité. Un certain nombre d'impacts diminuent : l'énergie primaire, les déchets radioactifs, alors que d'autres augmentent : les gaz à effet de serre, l'acidification et les ressources. Nous notons des variations plus fortes sur les bâtiments à usage mixte dû à l'impact des bureaux. Au final, quand nous utilisons le mix dynamique, nous nous apercevons qu'avec un mix moyen nous avions tendance à surestimer la part du nucléaire qui intervient pour satisfaire les besoins du bâtiment. L'énergie primaire et les déchets nucléaires sont des indicateurs liés à l'énergie nucléaire, or nous voyons qu'ils baissent. Nous avions, par contre, tendance à sous-estimer la part des technologies thermiques. Ceux-ci transparaissent à travers les indicateurs de gaz à effet de serre, d'acidification ou de ressources. La variation est importante quand nous changeons la méthode, mais il est important de prendre en compte cette variation dynamique. Nous disposons de nouvelles technologies, les panneaux solaires et la cogénération représentent une production intermittente. Nous pouvons insérer des technologies d'effacement de pointes à l'intérieur des bâtiments, mais nous ne pouvons pas évaluer les bénéfices environnementaux de ces paramètres si nous n'avons pas une modélisation horaire de ces impacts.



Pour aller plus loin, je vais vous parler de l'ACV conséquentielle. Je vous précise quelques définitions et quelques idées comme orienter le changement, approche économique ou approche prospective. Je pense que le terme « conséquentiel » est bien adapté, car il représente bien l'enjeu. Je réalise une action, j'obtiens des conséquences que je souhaite analyser. Une des définitions les plus souvent reprises dans la littérature scientifique est la deuxième : « un processus de modélisation visant à décrire les conséquences d'une décision ». Je vous en ai ajouté deux autres pour élargir : « intégrer les conséquences environnementales extérieures à la chaîne de valeur, mais qui résultent des forces de marché » – nous intégrons des paramètres économiques – et « englober les impacts environnementaux au-delà des limites physiques du système pris en compte en ACV attributionnelle », ce qui est un peu plus vague.

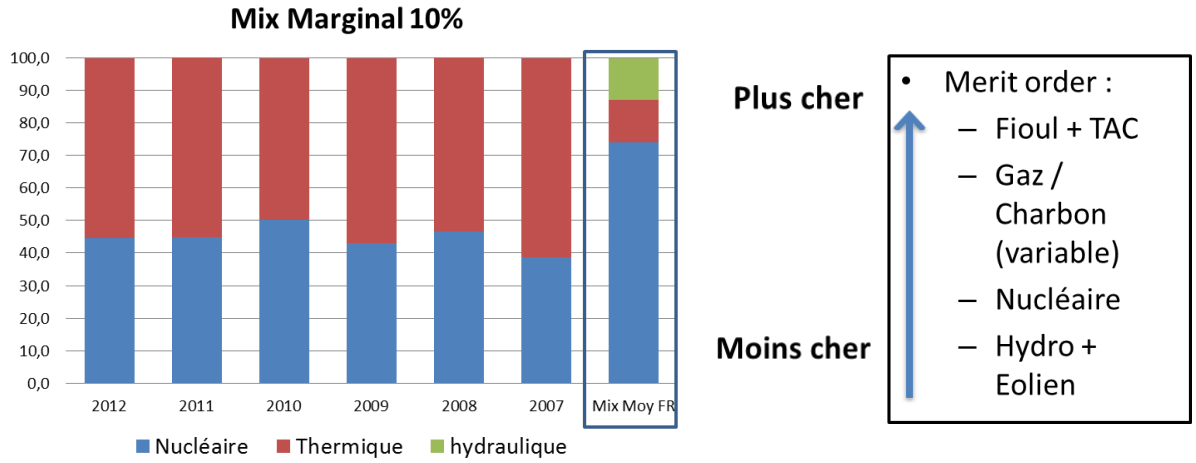


Que voulons-nous faire en faisant de l'ACV conséquentielle ? En ACV, nous considérons un système de produits qui peut être la planète, une ville, la France et un certain nombre d'impacts associés à ce système. En ACV attributionnelle classique, nous sélections une partie de ce système comme un bâtiment, un quartier et nous lui allouons des impacts environnementaux. Pour cela, nous utilisons des données moyennes. Si nous voulons travailler en ACV conséquentielle, nous modifions notre point de vue. Nous plaçons l'élément étudié à la marge du système, nous considérons qu'il s'ajoute au système et nous regardons comment les impacts vont varier quand je rajoute cet élément au système. Cela est particulièrement adapté au domaine de la construction, car nous ajoutons un nouveau bâtiment, un nouveau quartier, nous rénovons et nous obtenons des conséquences environnementales. C'est à ce moment que nous voudrions utiliser des données marginales. Il ne s'agit plus d'utiliser des données moyennes, mais bien d'examiner ce qu'il se passe lorsque nous avons une sollicitation du système.

Si j'augmente ma consommation d'électricité, quelles technologies seront capables de satisfaire cette hausse de la demande ? Certaines technologies comme l'hydraulique

peuvent être considérées comme saturées et ne seront pas en mesure de couvrir cette demande. Je pourrais également avoir un fournisseur de matériaux contraint qui ne peut pas répondre à ma demande alors qu'il compte dans le mix moyen, il produit des choses, mais il ne sera pas capable de fournir une demande supplémentaire. Voilà l'enjeu représenté par la différence entre les données moyennes et les données marginales.

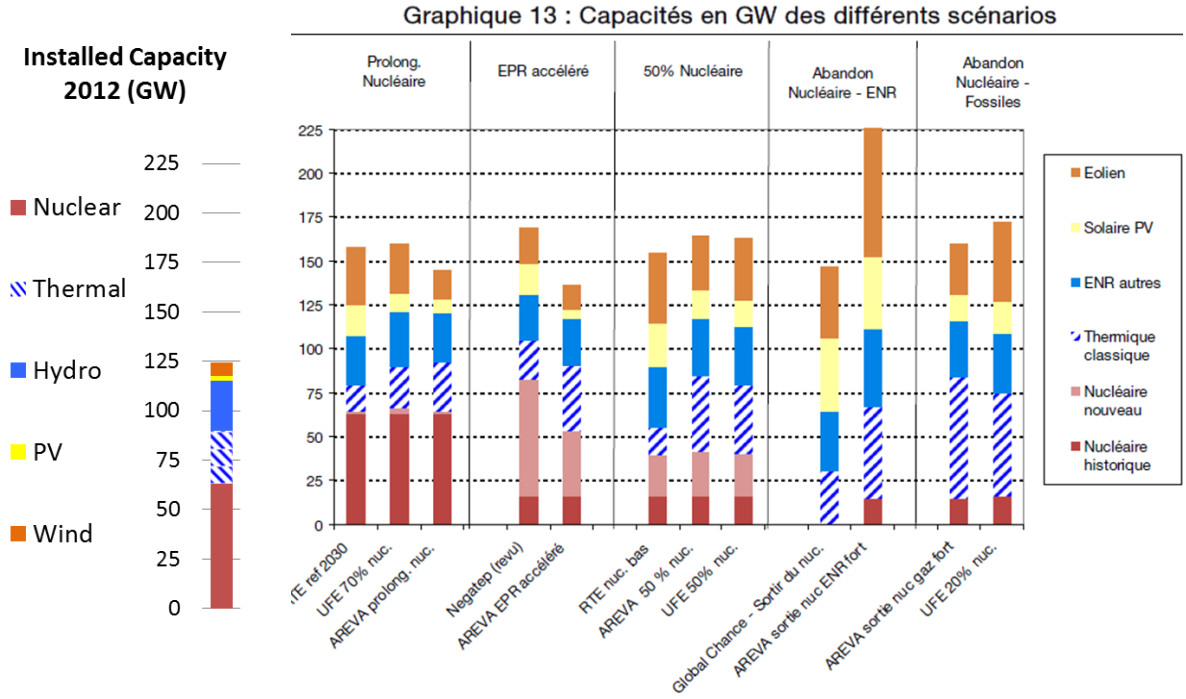
L'évaluation des technologies marginales peut se réaliser à court ou à long terme. À court terme, nous considérons les capacités de production fixes et les contraintes techno-économiques actuelles. À long terme, nous estimons que nous pouvons faire évoluer les capacités de production et nous analysons des scénarios parce que le long terme est toujours très incertain. Au niveau de l'évaluation des technologies marginales à court terme, nous avons testé une solution qui nous donnée par le protocole gaz à effet de serre du panel international sur le changement climatique qui est le mix marginal à 10 % que je vous expliquerai après. En ACV conséquentielle, au-delà de l'évaluation de ces technologies marginales, nous pouvons aussi intégrer des effets de marché que nous reconnaissons dans les définitions que je vous ai données précédemment, que sont la substitution, l'effet rebond, intégrer des courbes d'expérience, d'élasticité des prix. Cela se fera plutôt dans une seconde phase.



Reprenons les technologies marginales à court terme et le mix marginal à 10 %. Comment procédons-nous ? La méthode est assez simple. Nous regardons dans la production d'électrons quel est le merit order économique, comment se classent les différentes capacités de production d'électricité au niveau des coûts marginaux. C'est ce que vous voyez à droite. Nous prenons ensuite 10 % de la production et regardons quel est le point haut du merit order qui couvre les 10 % de cette production, soit les technologies les plus chères en fonctionnement à l'heure où j'examine la production et qui vont couvrir 10 % de la production. C'est ainsi que nous calculons le mix marginal à 10 %. Nous nous apercevons que par rapport à un mix moyen, nous avons une différence importante. En changeons de point de vue, nous obtenons plus de technologies thermiques, beaucoup moins de nucléaire et l'hydraulique est absent. Si nous évaluons les impacts de l'électricité avec ces mix marginaux au lieu du mix moyen, nous observons un changement radical du même type que celui que

nous avons vu avant avec l'ACV dynamique, mais en plus prononcé sur la modification des impacts environnementaux.

Je vais vous parler rapidement des technologies marginales à long terme. La première question que nous nous posons concerne l'horizon temporel, la durée de vie du bâtiment, entre cinquante et cent ans. Faut-il faire des prospectives à l'horizon 2100 ? Cela paraît un peu compliqué. À quelle durée dois-je regarder pour le long terme ? Que veut dire « technologies marginales » ? C'est prendre en compte, comme sur le court terme, la mobilisation des capacités installées, mais également l'influence du projet sur les nouveaux investissements. Si je renforce la consommation de pointe sur le système électrique, je vais influencer la mise en place de capacités de pointe, type centrale au fuel, sur un système électrique.



Quand nous nous basons sur le long terme, nous devons gérer les incertitudes. Quel est mon système à long terme ? De nombreux paramètres varient, il est donc important d'étudier la sensibilité via différents scénarios. La présentation suivante vous en apprendra plus sur le sujet. Voici un extrait du rapport « Énergies 2050 » qui présente différents scénarios émanant de plusieurs organisations comme des ONG, Areva, l'Union des fournisseurs d'électricité. Nous remarquons que suivant les scénarios, les conditions sont radicalement différentes que ce soit au niveau des technologies thermiques, du développement des ENR, et même en termes de capacité installée. Faire l'évaluation en interne est important, mais cela peut apporter de grandes incertitudes.

Pour conclure, nous notons des interactions fortes entre le secteur du bâtiment et le réseau électrique. Nous devons les prendre en compte, car le bâtiment est de plus en plus interconnecté avec le réseau électrique. Ces interactions sont vraies pour d'autres secteurs

économiques. Nous pouvons citer la gestion des déchets. Les méthodes présentées ici peuvent être appliquées à d'autres secteurs. La modélisation dynamique, la différenciation des usages et les méthodes marginales sont importantes sur le problème de l'électricité. À court terme, il est possible de faire de l'évaluation, car nous disposons de données assez fiables. Sur le long terme, nous examinons des systèmes qui ont une durée de vie assez longue, mais il faut faire attention. L'objectif est plus de mesurer la robustesse de l'analyse et des interprétations dans un but d'étude de sensibilité. Je vous remercie de votre attention.

Maxime Trocmé

Je vous propose de regrouper les questions pour les chercheurs à l'issue de la seconde présentation, à moins que vous n'ayez une question brûlante. Nous passons à la dernière présentation. Nous voyons que ces questions de cycle de vie conséquentielle poussent à regarder ce qu'il va se passer à l'avenir et poussent les énergéticiens, les personnes qui travaillent sur l'analyse de vie classique à aller discuter avec d'autres chercheurs, dont les chercheurs du Centre de mathématiques appliquées qui élaborent des scénarios prospectifs. Ce sera le propos d'Edi Assoumou.

Modélisation prospective pour l'analyse des enjeux futurs des systèmes électriques

Edi Assoumou, *Chercheur au Centre de Mathématiques Appliquées de l'École des Mines de Paris*

Notre centre s'occupe essentiellement de méthodes numériques, d'optimisation pour différents secteurs et a une activité de recherche autour de l'optimisation des systèmes énergétiques en général.

Je voudrais remercier la chaire éco-conception parce que nous parlons beaucoup de transdisciplinarité, interdisciplinarité, mais cela est toujours difficile à mettre en place et prendre cette initiative d'inviter les chercheurs d'un autre domaine est une chose intéressante. J'ai appris énormément de choses au cours des présentations des trois autres intervenants qui m'ont précédé et je vais essayer d'adapter mon propos à ce qui a été dit. En effet, des questions se recoupent et nous avons un enjeu commun.

Je vais rappeler brièvement quelques enjeux futurs des systèmes énergétiques, parler de la modélisation de prospectives sans faire un historique cette modélisation, parler du type de modélisation que nous déployons au Centre de mathématiques appliquées et vous apporter très vite des exemples pour vous faire sentir la problématique commune qui est celle d'évaluation systémique de mesures et d'être dans une attitude de prospective plus que de prédiction.

Les enjeux des systèmes électriques pour les énergéticiens – pour EDF et GDF ce sont des termes assez courants – partent en trois axes politiques qui sont :

- La sécurité d'approvisionnement;
- La compétitivité;
- L'impact environnemental.

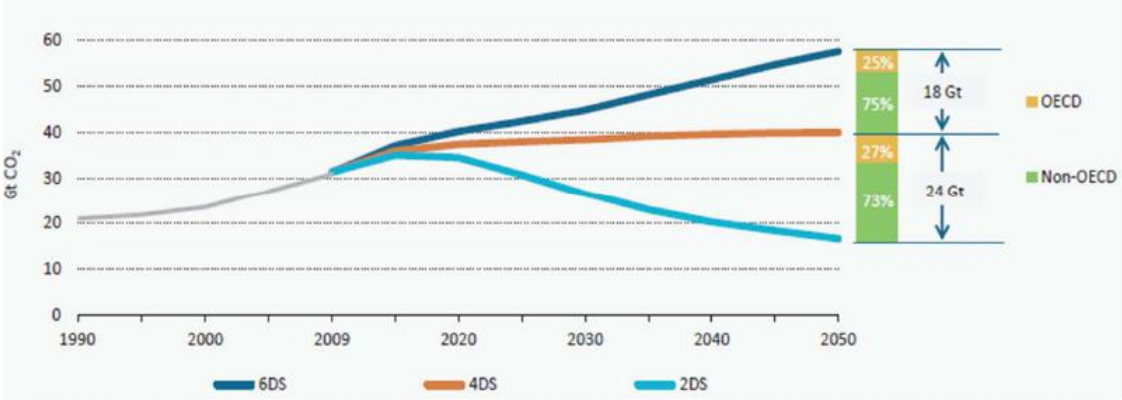
Ces trois axes sont connus depuis les époques du plan. Nous parlons d'équilibre offre-demande, avec une échelle plus haute que celle du bâtiment, qui dans sa forme normale consiste en la gestion de chaque instant du système électrique et dans sa forme critique en la gestion de panne ou de black-out.

La compétitivité prend en compte le coût de l'électricité, nous entrons dans la monétarisation et dans les mécanismes de soutien aux énergies renouvelables. Certaines questions restent ouvertes comme l'impact environnemental, avec les émissions de gaz à effet de serre notamment.

La dynamique temporelle est commune à ces deux secteurs parce que les investissements de production électrique ou les investissements de construction de terminaux méthaniers sont des investissements qui entraînent une certaine inertie des systèmes. Si nous prenons

le cas d'une centrale électrique qui dure quarante ans, nous avons une difficulté à revenir sur les choix passés. Nous devons tenir compte de l'évolution du coût des ressources pétrole, gaz et autres et l'évolution des contraintes environnementales.

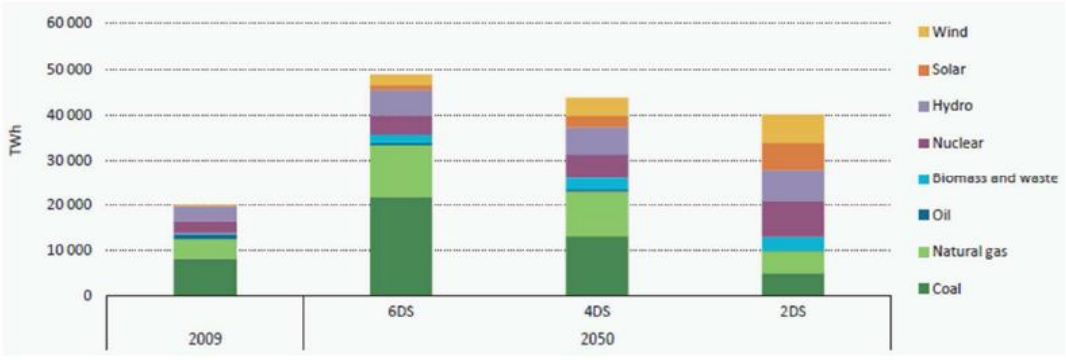
Nous organisons, sous l'égide de l'Agence internationale de l'énergie, un séminaire d'une semaine pour mener des réflexions, des modélisations de ces questions et nous avons beaucoup parlé de secteur électrique, de l'évolution vers le mix zéro carbone à l'horizon 2050.



Source: AIE ETP 2012

Pour illustrer mon propos, je vous présente les scénarios évalués par l'Agence internationale de l'énergie dans un rapport « Energy Technology Perspectives ». Ces trois scénarios correspondent à trois visions futures du monde. Le premier scénario prolonge la tendance actuelle et conduira à un doublement des émissions de CO2 d'ici 2050. C'est le scénario 6°C pour la question climatique. De ce scénario à 6°C nous passons à un scénario à 4°C avec un différentiel de 18 giga tonnes de CO2 et pour passer à un scénario 2°C, qui est le scénario idéal pour limiter les émissions de gaz à effet de serre à des niveaux qui n'entraînent pas trop de perturbations, nous arrivons à 24 giga tonnes supplémentaires.

Le grand enjeu pour le secteur électrique et pour tous les secteurs qui consomment de l'énergie est de définir quel sera le scénario futur effectif – nous avons tout à l'heure cet exemple de 15 % et la difficulté de tenir des engagements – et quelle sera la composition du mix pour atteindre ses scénarios.



Source: AIE ETP 2012

Pour cette étude, voici une idée de ce que pourrait être le mix du secteur électrique à l'horizon 2050. Je n'entre pas dans le détail, mais je voudrais vous faire remarquer deux choses. Entre le mix 2009 et le mix 2050, nous avons une différence d'échelle en termes de consommation. Nous serons sur des systèmes qui vont consommer plus d'électricité. Rajouter des consommations supplémentaires et définir leur impact marginal prend tout son sens, car nous sommes face à des investissements massifs mobilisés et derrière cela nous pouvons anticiper pour toutes les filières de construction un besoin assez important en génie civil.

Comment passer d'un monde à 20 000 TWh à un monde à 50 000 TWh ? Ces enjeux sont majeurs pour les énergéticiens parce qu'ils représentent des marchés à capter et une compétition technologique. Les trois courbes de scénarios montrent aussi l'incertitude que nous pouvons avoir sur les réponses technologiques. Nous voyons que l'avenir du charbon et du gaz dépend fortement du type de scénario utilisé. Pour atteindre un objectif de 2°C, une des conditions posées est d'atteindre un mix électrique quasiment décarboné. Cela pose la question de l'analyse de cycle de vie sur un horizon de quarante ans, voire moins. Quel contenu de CO2 prenons-nous pour évaluer ce système ? Avant de définir la réponse, nous voyons que prendre un contenu moyen de CO2 sur toute la durée de vie du bâtiment n'est pas cohérent avec la problématique globale de changement climatique qui est pourtant celle qui sous-tend ces analyses de cycle de vie.

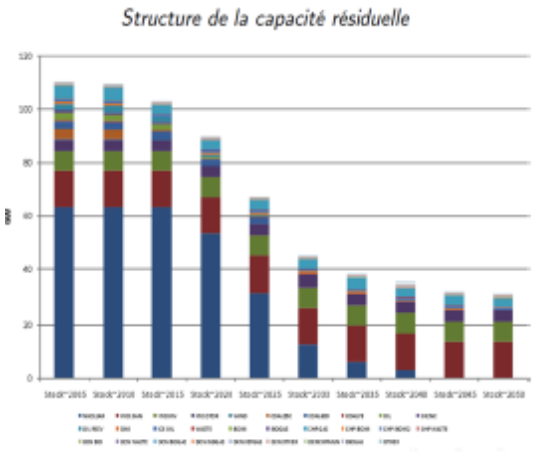
Je reviens sur les objectifs européens et la feuille de route européenne vers une société bas carbone à l'horizon 2050. Il est proposé dans ce tableau avec des objectifs assez impressionnants qui demanderont la mobilisation de tous les secteurs d'activité. Dans le secteur de la production électrique, les objectifs de réduction se situent entre – 93 % et – 99 %. Dans le secteur du bâtiment, l'objectif atteint progressivement – 90 % des émissions de CO2.

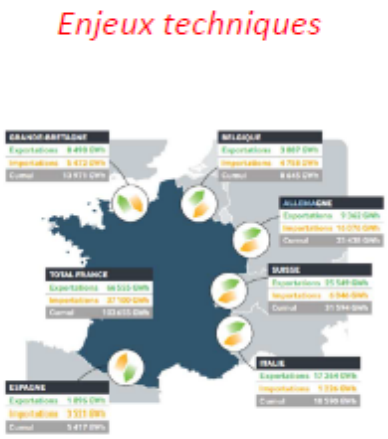
GHG reductions compared to 1990 in %	2005	2030	2050
Total	-7%	-40 to -44%	-79 to -82%
Sectors			
Power (CO2)	-7%	-54 to -68%	-93 to -99%
Industry (CO2)	-20%	-34 to -40%	-83 to -87%
Transport (incl. aviation, excl. maritime)[121] (CO2)	+30%	+20 to -9%	-54 to -67%
Transport (excl. aviation, excl. maritime)	*+25%*	*+8 to -17%*	*-61 to -74%*
Residential and services (CO2)	-12%	-37 to -53%	-88 to-91%
Agriculture (Non CO2)	-20%	-36 to -37%	-42 to -49%
Other Non CO2 emissions	-30%	-71.5 to -72.5%	-70 to -78%

Source: EU rapport SEC(2011) 288 final

Que cela veut-il en pratique pour le secteur de la construction, pour l'isolation ? Les scénarios ne le précisent pas, mais si nous couplons ces enjeux à ceux du transport, nous voyons que la notion de bâtiment s'étend à un écosystème bâtiment et transport, bâtiment mobilité. Les objectifs donnés par des modèles globaux affirment que c'est la direction vers laquelle il faut aller, mais qu'il faut aussi, en complément, des modèles qui permettent d'intégrer une action cohérente pour tous les secteurs d'activité industrielle qui vont devoir se mobiliser pour faire face à ce challenge.

Ces scénarios ont été présentés tout au long de cette semaine en posant la question de la crédibilité. Nous pouvons être pessimistes et se dire que comme nous n'y arriverons pas, nous suivrons la trajectoire à 4°C ou essayer de dégager des marges de manœuvre et faciliter toutes les actions qui permettraient d'aller vers ces objectifs.

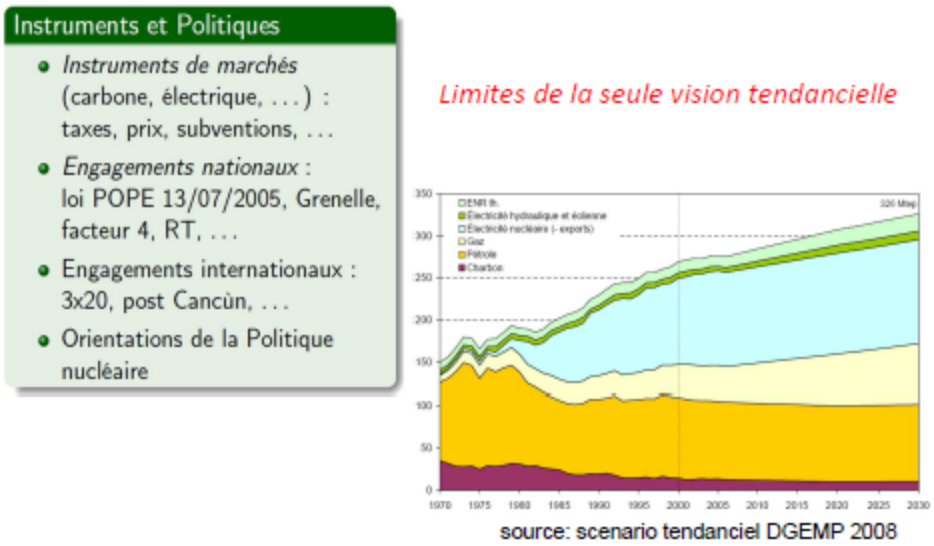




Source RTE

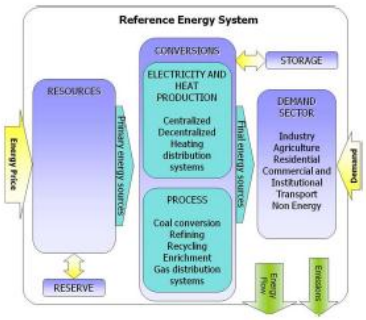
Je reviens maintenant sur une problématique française bien connue qui est celle du déclassement rapide des centrales. Je vous montre ici le classement actuel du parc de production. Sur le graphique précédent, nous avions observé une croissance de la demande d'électricité. Si nous ne faisons rien, voilà ce qui arriverait suite à un déclassement du parc. La question qui est posée est comment remplir ce différentiel. Pour faire un parallèle avec la présentation précédente, vous voyez que la question de mix marginal et de gestion de ce nouveau système électrique à l'horizon 2050 n'est pas évidente.

L'autre enjeu technique est celui des interconnexions. La France est l'un des plus grands pays exportateurs nets d'électricité à l'échelle européenne avec des mix électriques qui varient, des enjeux avec le développement d'énergie électrique en Allemagne, en Espagne et au Royaume-Uni, la découverte de gaz non conventionnels. Toutes les cartes sont en train d'être rebattues. Toutes ces questions nécessitent quand même d'être traitées dans une dimension systémique et sur le long terme.



Il existe des instruments et des engagements connus d'axes prix-subventions, des mécanismes réglementaires, le facteur 4 et différents types d'engagements à différentes échelles. Il existe surtout des projections. J'ai repris ici le dernier scénario tendanciel de GMP qui n'a pas été réactualisé. Cette vision tendancielle donne aux acteurs, aux industries, une direction, une idée de ce que pourrait être le système énergétique. Mais elle est souvent en décalage avec les engagements qui sont pris. L'enjeu pour les systèmes électriques est d'avoir cette vision tendancielle et d'éclairer en même temps les différentes alternatives et permettre à chaque acteur de se positionner dans ce monde.

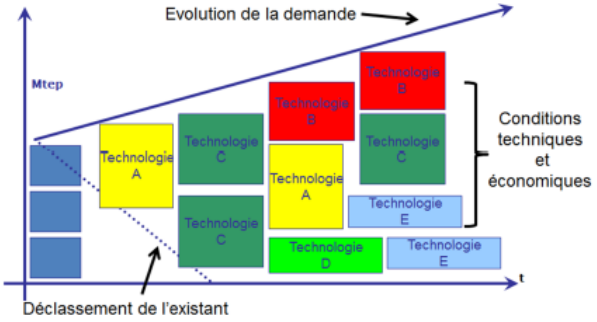
Au Centre de mathématiques appliquées, nous faisons de la modélisation prospective. Nous construisons des modèles qui permettent de projeter l'évolution future des systèmes énergétiques en utilisant une approche de modélisation qui repose sur des modèles de type MARKAL/TIMES. Ce sont des modèles développés dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie, dont un programme particulier est l'ETSAP qui réunit environ deux cents pays. Cette semaine s'est tenue l'une des rencontres biannuelles de ce programme. Nous sommes référents pour la France dans le cadre de ce programme.



Elements de base:
-Process
-Commodités

Relation de base:
-Echange de flux

Règle de base:
- Equilibre global des flux
- Minimisation du coût total actualisé



La logique de ce modèle est assez simple. Le modèle part d'une représentation technologique détaillée et d'un critère qui est la minimisation du coût. Nous essayons de trouver le système qui satisfait la demande avec le coût minimum. Nous allons imposer des contraintes sur ce système. Ce problème d'optimisation sous contraintes va permettre de dégager les choix technologiques visant au respect des contraintes et à la minimisation du coût. Les contraintes peuvent être des contraintes de pénétration du renouvelable, des contraintes de réduction de gaz à effet de serre, et différentes.

Nous développons plusieurs types de modèles pour différentes échelles, le monde, l'Europe, de la France, et des modèles spécifiques, par exemple dans le secteur des bioénergies où la problématique de l'ACV est assez semblable à celle du secteur des bâtiments. Et sur ce point, notons aussi l'initiative qui est prise ici dans le secteur de la construction. Je trouve que cette anticipation est très bien venue parce que nous voyons, quand nous discutons avec les industriels du secteur des bioénergies, qu'ils n'ont pas suffisamment développé d'outils d'anticipation de ce que pourrait être la réglementation sur leurs produits. Aujourd'hui les biocarburants au Brésil ou toutes ces questions d'usage du sol, de compétitivité entre les usages des sols et des émissions indirectes contraignent le secteur des biocarburants en Europe. Anticiper les questions et les enjeux réglementaires pour un secteur industriel, participer en tous cas à la définition de ces standards paraît très important. Énormément de travaux sont menés pour définir des référentielles bioénergies locales françaises en tenant compte de la spécificité de chaque culture et de chaque pratique agricole et plutôt que des valeurs moyennes. C'est un point qui rejoint parfaitement les idées qui ont été présentées ce soir.

Ce qu'il faut retenir de ce graphique est tout ce qui est à l'extérieur. Nous partons d'abord d'un système où nous avons en entrée le prix de l'énergie et de l'autre côté une demande à satisfaire. À l'intérieur de ce système, nous passons par une succession d'étapes de transformations de ressources primaires, transformations en électricité et chaleur, éventuellement du stockage et différents secteurs de demandes. En sortie de cet ensemble, nous avons des émissions et des consommations d'énergie.

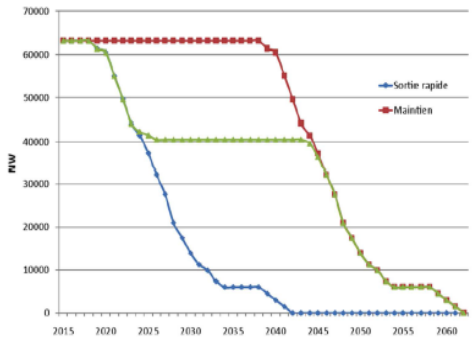
Ce que nous essayons de faire de façon plus schématique, si nous partons de la gauche vers la droite, nous avons en bleu un parc existant et en pointillés le déclassement prévu de ce

parc. En parallèle, nous avons une évolution de la demande et un ensemble de technologies candidates pour satisfaire cette demande. Le principe de l'approche est de minimiser le coût de l'ensemble tout en respectant différentes contraintes. C'est cette étape de minimisation qui permettra de choisir le mix adéquat et éventuellement d'ajuster la demande lorsque les contraintes environnementales sont plus importantes. Voilà brièvement expliqué le contenu de l'approche que nous développons, mais je pense que rien ne vaut quelques exemples.

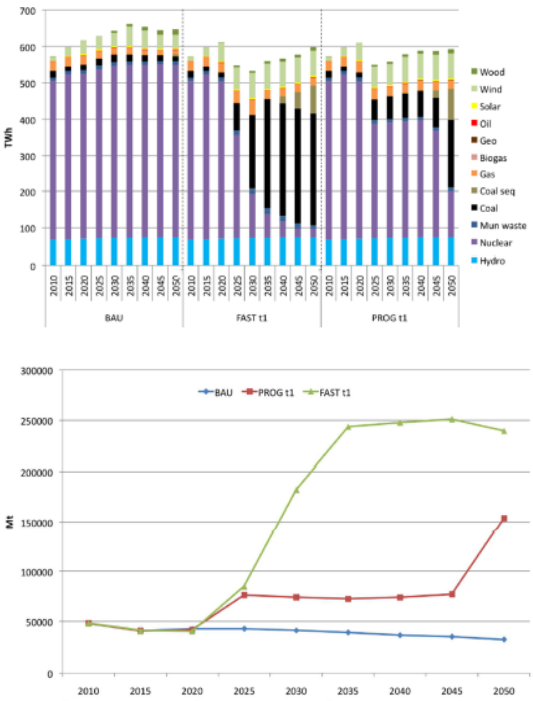
Je vais m'attarder sur un exemple qui a été introduit tout à l'heure, celui du mix français à l'horizon 2050 et la part du nucléaire dont il a été encore question et dont il est souvent question, l'extension de la durée de vie des réacteurs et des scénarios de sortie plus ou moins rapide et de contraintes environnementales. Cette étude a été réalisée en support aux travaux de la Commission Besson qui ont été proposées différentes approches : des approches de groupes d'opinions, des approches d'industriels. Nous proposions des travaux en support avec l'idée qu'il faut actualiser à chaque fois le débat en utilisant de nouveaux scénarios. L'intérêt d'avoir un modèle nous permet de le faire de façon un peu plus rapide.

Scenarios envisagés	Contraintes CO_2	Demande élastique	Statut Nucléaire	Hypothèses communes
BAU	(20 euros/T) **taxe ETS**	**référence**	Maintien 65GW	**Prix** WEO 2010 %
PROGt1	**taxe ETS**	**oui**	Sortie Progressive	**Demande** RTE référence
PROGv1	**taxe ETS + émissions BAU**	**oui**	Sortie Progressive	
FASTt1	**taxe ETS**	**oui**	Sortie Rapide (40 ans)	**Exportations** variables
FASTv1	**taxe ETS + émissions BAU**	**oui**	Sortie Rapide (40 ans)	

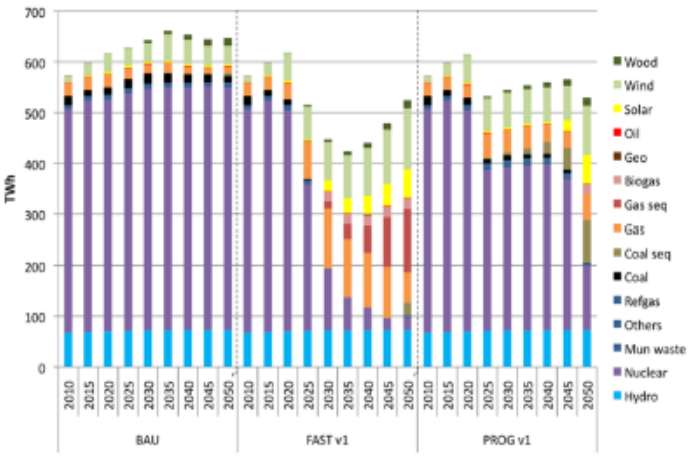
Ce que nous avons proposé, en partant de la lettre de mission, était un ensemble, une matrice de cinq scénarios envisagés qui combinent des contraintes CO2, un niveau de demandes et différents statuts sur le nucléaire et des hypothèses de prix aussi. Nous voyons bien que lorsque les hypothèses de contraintes environnementales rencontrent des hypothèses d'évolution des prix de l'énergie fossile, nous arrivons à des dynamiques de choix technologiques qui ne sont pas aisés à anticiper par la simple expertise. C'est là aussi l'avantage d'un modèle.



Voici les trois options qui ont été discutées. En bleu, nous avons une option de déclassement à 40 ans, en rouge une option de déclassement à 60 ans et en vert une option moyenne de sortie progressive. Toutes ces options vont générer différents choix et c'est ce que nous allons voir. Je vais uniquement m'attarder sur des résultats quantitatifs en termes de production en térawatts heure et gigawatts installés.



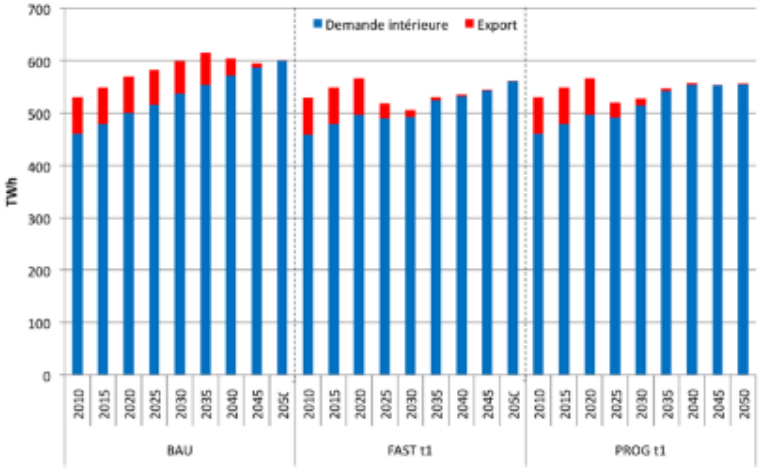
Les premiers scénarios montrent un mix qui change peu en termes de consommation d'énergie à l'horizon 2050. La France n'est pas dans cette dynamique de doublement de la quantité d'électricité sur ces quarante prochaines années. Par contre, les scénarios de sortie du nucléaire impactent les choix futurs. Dans ces scénarios, nous voyons que si nous mettons une contrainte environnementale faible de l'ordre d'un marché ETS qui ne serait pas très développé, autour de 20 euros de l'atome de CO2, avec des prix du charbon pas suffisamment élevés, nous arrivons à une substitution pour des besoins en base par du charbon, du gaz et du renouvelable qui se développe. Mais par rapport à la quantité d'électricité qu'il faut trouver, nous sommes sur des scénarios qui deviennent fortement émissifs. Lorsque nous sommes dans le cas d'une sortie progressive, nous pouvons voir que le rythme de pénétration du charbon est beaucoup moins élevé. Nous avons essayé de voir quel était l'impact en termes d'émission de CO2. L'impact est une multiplication quasiment partielle des émissions de CO2 pour les différents scénarios.



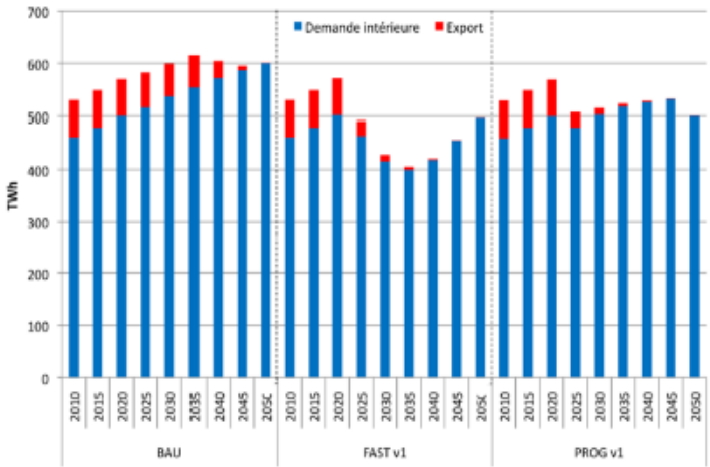
Bien sûr, ce n'est pas une fatalité. Nous avons fait d'autres simulations en contraignant les différents mix énergétiques au même niveau d'émission de CO2. Si la consigne est d'adopter différentes politiques pour le nucléaire, mais de garder toujours un niveau d'émission équivalent à celui du scénario avec du nucléaire, nous modifions les signaux économiques pour cette compétition, nous arrivons à deux mix totalement différents. Nous faisons ici une plus grande place au gaz, à la séquestration, et combiné de gaz et de séquestration. Nous avons aussi dans ces scénarios plus d'éoliens, plus de solaire et un mix énergétique complètement différent. Ces scénarios permettent de voir que dans le cas d'une analyse qui est celle de l'ACP que se propose de faire l'ACV conséquentielle, il existe une dimension politique, d'anticipation, mais aussi une dimension qui est celle du niveau global de consommation d'électricité. Pour le scénario de sortie rapide, il faut qu'il s'accompagne aussi d'une baisse

plus importante de la demande. Tandis que dans le scénario d'une sortie progressive, la baisse de demandes est moins forte, même si elle est effective en fin d'horizon.

Cette évolution révèle deux choses : aujourd'hui, en France, les exportations sont à un niveau assez important et seront, dans le cadre de notre modèle, dans un cadre purement formel, un premier élément d'ajustement. Ces scénarios montrent que, dans le cas de contraintes sur le nucléaire, le premier élément, avant d'atteindre la demande intérieure, est une baisse du différentiel d'exportations, ce qui se justifie aussi par le fait que nous avons un mix européen moins différencié et l'avantage compétitif du coût du kilowattheure n'étant plus effectif, nous arrivons à une baisse d'e l'intérêt ou de la demande d'électricité provenant de la France.

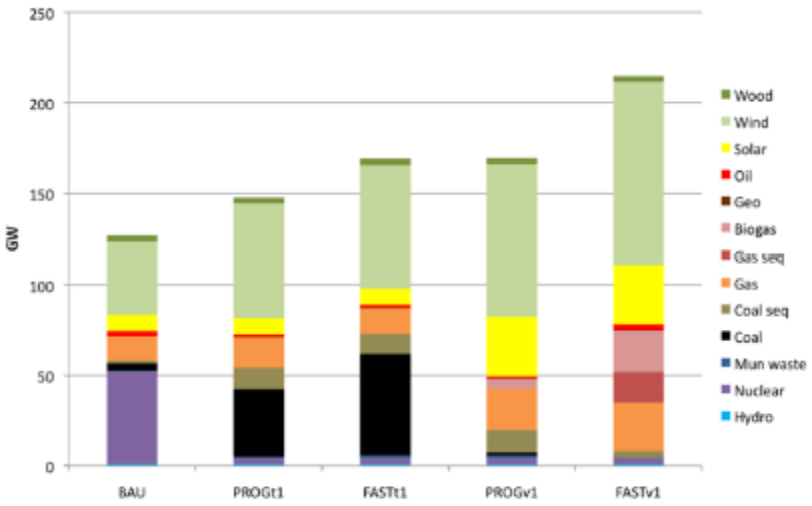


Dans un scénario où nous contraignons aussi en volume les émissions de CO2, nous avons en plus de cette baisse de la demande en exportations, une baisse de la demande intérieure. Cette baisse de la demande intérieure appelle plus tard d'autres questions sur les usages, la réalité de cette baisse et les secteurs qui seront les premiers impactés. Mais je resterai plutôt sur le secteur électrique et ici sur le besoin en nouvelles capacités qui est très important. Ici est représenté l'ensemble des centrales qui devront être construites d'ici à l'horizon 2050 pour les différents scénarios. Nous remarquons que les scénarios avec une sortie du nucléaire et avec une contrainte en volume demandent un ordre de grandeur de construction en éoliens et en solaire qui est largement au-dessus du rythme de construction actuel et même du rythme annuel. Nous parlons régulièrement de record de construction d'énergie éolienne, mais il faudra soutenir une industrie qui pourra, sur la durée, faire face à une demande de plus en plus forte, tant dans le remplacement des capacités existantes lorsqu'elles arriveront en fin de vie, que dans l'augmentation en absolu de cette capacité. Pour nous, cela relève d'un problème de choix industriel. Nous ne disons pas que ce scénario



est plus ou moins réaliste, mais qu'il faut être conscient que mobiliser une filière pour atteindre ces niveaux d'investissement en un temps très court nécessitera d'autres signaux clairs qui ne sont pas du tout captés par nos outils.

Le deuxième élément est aussi la différence en termes de niveau de capacité installée qui peut être simplement expliquée par le fait que ces capacités ont des facteurs de disponibilité différents, entre une centrale qui a un facteur de disponibilité de presque 90 % sur l'année et des installations du type panneaux solaires ou éoliens qui ont des disponibilités annuelles de l'ordre de 30 % étant donnée l'origine des vents. Nous arrivons aussi sur des systèmes où nous favorisons l'installation, la construction d'équipements. Nous construisons beaucoup plus d'équipements pour beaucoup moins d'énergie, ce qui est aussi un choix. Nous aboutissons à des questions que nos résultats commencent à mettre en évidence, mais que nous n'avons pas les capacités tout seuls d'explorer comme définir le contenu, en construction, pour le secteur industriel de ces scénarios.



Enfin, un autre élément qui attire aussi mon attention par rapport à la discussion et aux présentations de ce soir est celui de l'importance du solaire et de l'éolien. Nous passons dans ces scénarios d'un changement de paradigme à des systèmes plus décentralisés. Dans nos scénarios, le solaire et l'éolien ne sont placés sur aucun bâtiment. Mais dans la réalité, si ces scénarios devaient s'avérer effectifs, ils devraient être installés sur des bâtiments. Et ces bâtiments devraient avoir été conçus pour les accueillir. Il faudrait alors dire s'il s'agit-il de bâtiments nouveaux, de bâtiments existants, quelle capacité ? Ces questions se trouvent aux frontières de ce que nous savons faire avec nos modèles qui nous permettent d'avoir une vision très formelle et très rationnelle de ces systèmes sur du long terme avec très peu d'objectifs et qui ouvrent sur des enjeux pour le secteur des bâtiments ou l'industrie de la construction, en amont du secteur des bâtiments, tant pour la construction d'équipements de génie civil pour les centrales que pour la construction de bâtiments qui ne seront pas négligeables et qui sont de véritables enjeux de recherche sur lesquels il serait très intéressant de travailler ensemble. Merci.

Maxime Trocmé

Avez-vous des questions pour les deux derniers intervenants ?

Mathieu Bujel

Je travaille pour la société Urban Wise. J'ai trois questions pour Charlotte ROUX. La première est de savoir en fait quelles données de température sont utilisées pour déterminer le mix énergétique dynamique ? Est-ce que sont des données moyennées sur les trente dernières années pour l'ensemble de la France ? La deuxième question concerne la prise en compte les imports, car en France nous pouvons potentiellement avoir des imports d'électricité produite à partir de barrages hydrauliques en Suisse notamment en période de pointe ?

Enfin, vous parliez de Merit order et de l'empilement des coûts marginaux. Avez-vous comparé le mix dynamique obtenu à partir d'une des compositions de fonction de Fourier et le mix qui serait déterminé à partir d'un indice de prix de marché, sachant que nous avons un empilement des coûts marginaux et de savoir si nous obtenons à peu près la même chose ? Je vous remercie.

Charlotte Roux

Concernant les données en température, le modèle a été calculé sur les données de production et de température avec une moyenne nationale sur 2008. Le modèle a ensuite été ramené à une année de référence sur une moyenne sur les 20 dernières années, du type de celles que nous utilisons pour les simulations thermiques dynamiques.

Ensuite, les imports ont été effectivement intégrés au modèle après la modélisation. Le travail a été fait sur cinq différentes variantes. Considérons-nous le mix européen pour les variantes ? Est-ce que nous considérons que la Suisse est du nucléaire qui est stocké dans les barrages hydrauliques et qui est réinjecté en France ? Il y a eu cinq variantes différentes pour tester ces importations qui sont bien intégrées au modèle.

Ensuite, j'ai un peu plus de mal pour la dernière question. Nous n'avons pas vraiment comparé. Le merit order économique est celui est donné par RTE. Nous savons qu'au niveau du gaz et du charbon, nous avons des variations d'une année sur l'autre en fonction du prix du combustible, ce n'est pas très précis. Il est difficile de savoir comment les ordonner. Vous parlez des prix spot, de la variation des prix ?

D'accord, à partir du prix reconstruire le mix électrique. Non, c'est quelque chose que nous n'avons pas fait pour l'instant, mais effectivement on nous a indiqué cette idée du prix.

Edi Assoumou

Si je peux ajouter un complément à la question, où une grande partie du marché de l'électricité n'est pas (coupure bande) … d'arrêt et de démarrage qui souvent conditionnent les choix d'un opérateur de garder sa centrale encore deux heures plutôt que de l'arrêter et de démarrer. Cela reste des modèles assez compliqués et je pense qu'il n'y a pas vraiment de solution simple et opérationnelle.

Bertrand Lamiral, *GDF SUEZ*

J'ai une question par rapport au mix marginal. Nous intégrons bien évidemment cette notion dans tous les projets d'investissement ou autres plans d'action. Ne pensez-vous pas qu'il y a un effet d'échelle de pertinence qu'il faut considérer ? Est-ce que réellement l'application d'une méthode basée sur du marginal est vraiment pertinente sur une telle petite échelle d'implantation de bâtiment ? Nous pouvons comprendre cela sur un ensemble de secteurs comme pour le déploiement d'une grande flotte de véhicules électriques, etc. Mais est-ce que vraiment sur l'échelle d'un bâtiment ou même d'un îlot de bâtiments cela reste pertinent?

Charlotte Roux

Il est vrai que dans cette notion d'ACV conséquentielle, nous retrouvons beaucoup cette notion de prendre des unités valables à un niveau global, 1 % en plus ou une unité qui soit à la fois marginale, mais qui veuille dire quelque chose. Est-ce qu'un projet individuel peut mener à un effet marginal sur l'ensemble du système. Nous pouvons nous poser la question. Mais on a vu dans la thématique du chauffage électrique, nous avons une montée en puissance de l'installation du chauffage électrique et chaque bâtiment qui était au chauffage électrique a contribué à bâtir une tendance qui nous a menés à la thermo sensibilité que nous avons aujourd'hui sur le système.

L'objectif de l'outil que nous développons, qui est vraiment un outil d'évaluation centré sur un projet, a une taille qui peut être assez réduite, cela nous a paru important de prendre en compte ce côté de renforcer une tendance ou au contraire contribuer à la diminuer. Et la deuxième chose est que pour un bâtiment ou même au niveau de la production locale d'énergie, il y a aussi un effet marginal à court terme. Quand nous introduisons de l'énergie photovoltaïque, elle va à court terme remplacer plutôt des technologies thermiques. En été, elle remplacera peut-être pas mal de nucléaire aussi, mais c'est l'effet réel qu'il va y avoir sur le système. Je pense que cela peut être assez pertinent, même si, effectivement, il y a aussi cette question de la responsabilité. Est-ce qu'il faut donner toute la responsabilité de la contrainte actuelle du réseau électrique sur un projet qui arrive ? Est-ce que ce n'est pas une responsabilité partagée avec les bâtiments qui sont mal isolés. C'est l'enjeu de différentes contributions. Mais en tous cas, l'introduction de mix marginaux au niveau d'un projet particulier est quelque chose d'important.

Intervenant

Moi je trouve qu'il y a peut-être un peu de communication à faire sur l'ACV conséquentielle, parce que vu comme ça, j'ai l'impression que quand on fait l'ACV d'un bâtiment existant qui consomme 300 kilowatts heure et qui est incapable de s'effacer, nous avons le droit de lui affecter des mix énergétiques sympathiques. Par contre, quand nous voulons construire un bâtiment VEPOS capable de s'effacer, nous devons lui affecter le mix marginal qui est plein de CO2. Il faut quand même faire attention à la façon dont nous retranscrivons ces

informations. Il faut peut-être d'abord travailler sur les bâtiments en réa qui consomment quand même pas mal du mix fatal.

Charlotte Roux

Tout à fait. Je pense, pour les actions de rénovation, il existe une grosse valorisation des actions de rénovation à travers le mix marginal. Pour les bâtiments nouveaux, nous répondons à un programme. Il y a une demande, un besoin. Nous essayons de répondre au mieux à ce besoin. Nous examinons différentes variantes du bâtiment et nous voyons qu'avec un effacement de pointe, les impacts environnementaux sont réduits de manière très significative et qui sera plus significative si nous utilisons les mix marginaux plutôt que les mix moyens pour examiner nos variantes. Je pense qu'il faut vraiment le voir comme cela. Ce n'est pas une façon de blâmer les nouveaux bâtiments. Mais c'est une nouvelle façon d'optimiser la réponse à un besoin existant.

Maxime Trocmé

Merci. Avez-vous une dernière question ? Il est 19 heures. Je remercie tous les participants, tous les intervenants. Je vous invite à venir profiter du cocktail. Je vous précise que, comme à chaque conférence, les actes seront en ligne d'ici peu et vous pouvez retrouver tout ce qui s'est dit ce soir et lors des dernières conférences sur le site de la chair : www.chair-eco-conception.org. Vous pouvez aussi taper « chair écoconception » dans Google et vous tomberez tout de suite dessus. Merci à tous et bonne soirée.