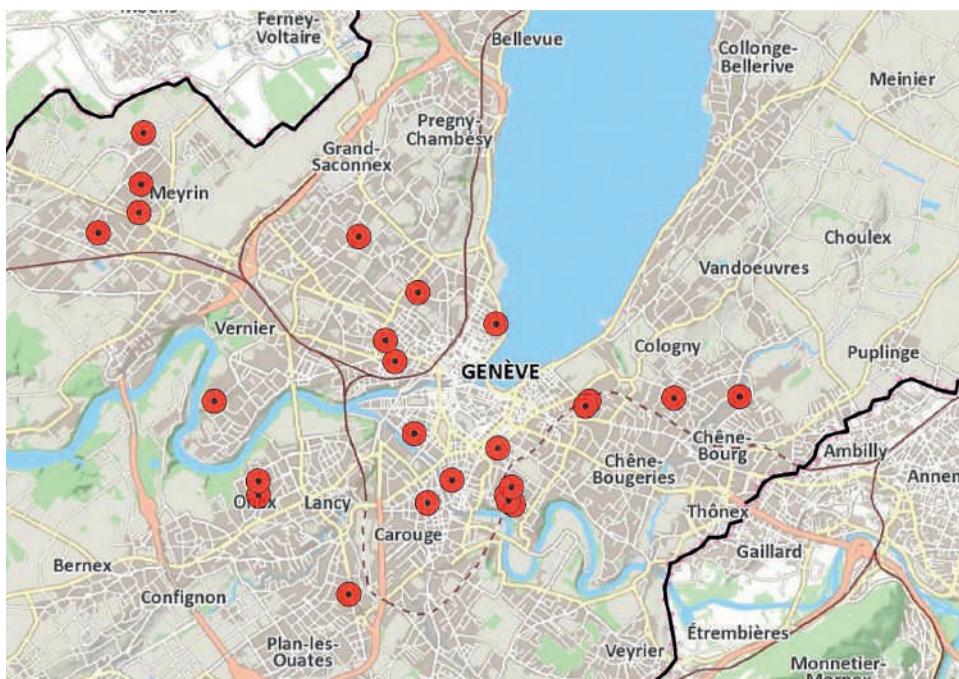


# Un assainissement énergétiquement efficace

Les assainissements de bâtiments permettent d'améliorer significativement la consommation énergétique. Toutefois, les économies réalisées restent souvent inférieures à celles prévues. Une équipe de chercheurs de l'Université de Genève a étudié la mesure et les causes de ce «Performance Gap» entre le gain d'efficacité prévu et celui effectivement réalisé, sur la base de 26 constructions des années 1960. Ce projet a permis d'émettre des recommandations sur la manière d'exploiter encore plus efficacement le potentiel énergétique des assainissements à l'avenir.



Les chercheurs en bâtiment de l'Université de Genève fondent leur étude sur 26 bâtiments situés en ville de Genève, essentiellement construits dans les années 1990 et récemment rénovés. Graphique: Rapport final Compare Renove.

Dr Benedikt Vogel, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)

Le Canton de Genève est très attentif lorsqu'il s'agit de la consommation de chaleur des bâtiments. Si un bâtiment comprend plus de cinq logements, le propriétaire doit rendre des comptes aux administrations concernant sa consommation réelle. Ces informations permettent au canton de comprendre plus en détail l'évolution de la consommation énergétique du parc immobilier. L'information chiffrée est une précieuse source de données pour montrer à quel point un assainissement énergétique a permis

de réduire la consommation énergétique du bien immobilier concerné. Les chiffres fournissent également des réponses, à savoir dans quelle mesure les objectifs visés ont été atteints concrètement. Ce contrôle de réussite était justement le principal objectif d'un projet de recherche de l'Université de Genève terminé depuis peu. Les scientifiques ont évalué les données de 26 bâtiments de Genève avec un total de 3000 logements construits essentiellement dans les années 1960 et assainis depuis 2005. Les assainissements ont permis de réduire la consommation énergétique pour la chaleur de chauffage et l'eau chaude de 29% en moyenne

comme l'indiquent les informations des propriétaires. Ce résultat a servi de base pour une étude à laquelle cinq chercheuses et chercheurs du groupe Systèmes énergétiques de l'Institut des sciences de l'environnement et du département F-A. Forel pour les sciences de l'environnement et l'eau ont participé. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN), le service de l'énergie du Canton de Genève, les Services industriels de Genève (SIG) et le Swiss Competence Center for Energy Research on Future Energy Efficient Buildings & Districts ont apporté leur soutien financier au projet de recherche.

## En moyenne, moins de la moitié du potentiel d'économie est effectivement réalisé

Il est bien connu que les chiffres prévus lors de la planification et les chiffres obtenus ne concordent pas toujours complètement. L'étude genevoise a réussi à justifier ce Performance Gap avec des chiffres impressionnantes. Conformément aux chiffres prévus (basés sur la norme 380/1), la consommation pour le chauffage aurait dû baisser de 39 kWh/m<sup>2</sup> à 156 kWh/m<sup>2</sup> en fonction du bâtiment. Les économies effectivement réalisées se sont cependant révélées nettement inférieures: dans le meilleur des cas, le potentiel d'économie a été exploité à 65% et à seulement 29% dans le pire des cas. Les valeurs les plus basses se présentent généralement lors des rénovations partielles après lesquelles on omet souvent de réajuster les courbes de chauffage.

Ce résultat se base sur les données de chacun des 26 bâtiments dont tous les chiffres nécessaires pour la comparaison étaient disponibles et dont la surface ha-



L'un des 26 bâtiments étudiés: l'immeuble de 273 appartements et d'une surface de référence de chauffage de 19 000 m<sup>2</sup> a été rénové selon la norme Minergie en 2013. (Photo: Université de Genève)



L'un des 26 bâtiments étudiés: l'immeuble de 63 appartements et d'une surface de référence de chauffage de 5357 m<sup>2</sup> a été rénové selon la norme Minergie en 2008. (Photo: Université de Genève)



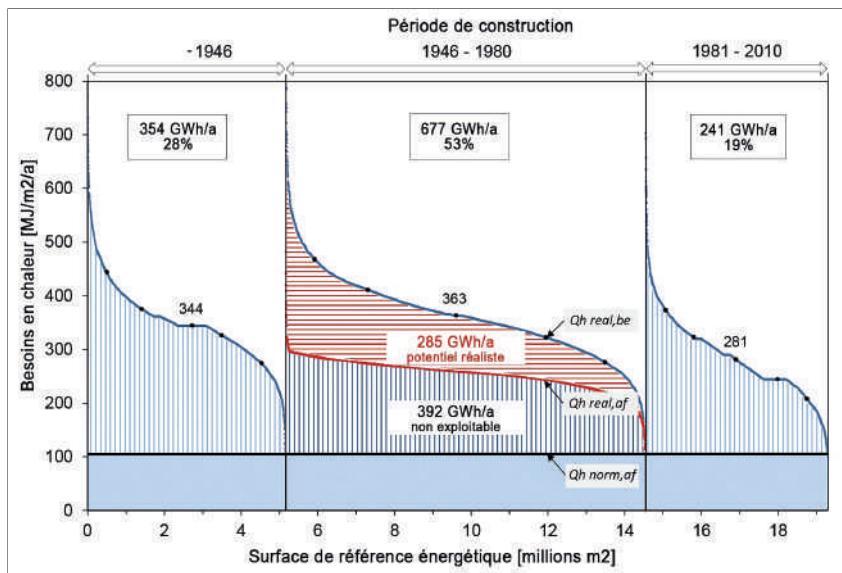
L'un des 26 bâtiments étudiés: l'immeuble de 28 appartements et d'une surface de référence de chauffage de 1640 m<sup>2</sup> a été rénové en 2008. (Photo: Université de Genève)

bitable n'a pas été agrandie dans le cadre de la rénovation. Les scientifiques genevois pensent que le résultat peut s'appliquer au parc immobilier du canton de Genève et de toute la Suisse. A ce sujet, le Dr Jad Khoury, expert en assainissement énergétique à l'Université de Genève et auteur principal du projet de recherche, ajoute que «si l'on généralise les observations de notre échantillon à l'ensemble des bâtiments résidentiels collectifs d'après-guerre de Genève, nous arrivons à la conclusion que moins de la moitié (42 %) du potentiel d'économie d'énergie théorique pourrait être concrètement réalisé dans le domaine de l'énergie de chauffage. Le même calcul sur le parc immobilier complet suisse donne une valeur similaire (46 %).»

### Causes du Performance Gap

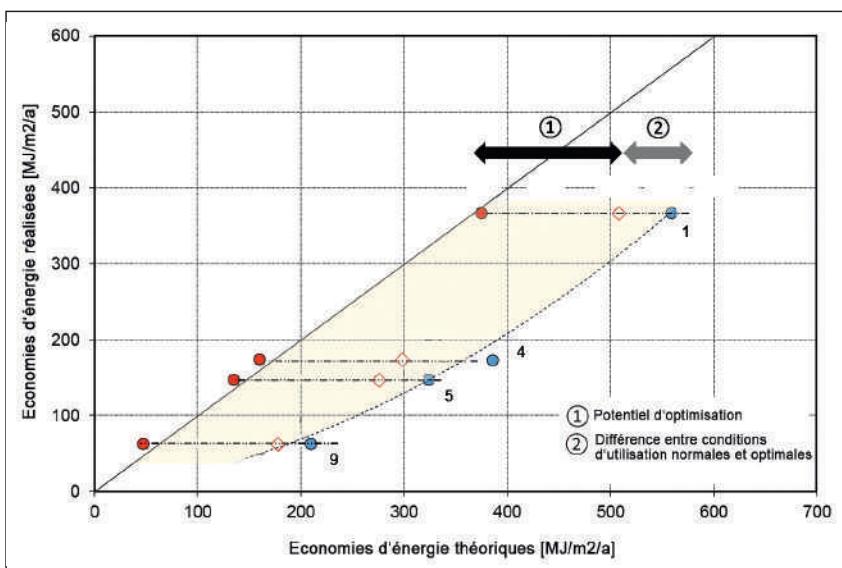
«Ces chiffres peuvent sembler surprenants au premier abord mais ils ne le sont pas pour les personnes initiées», affirme le Dr Pierre Hollmuller, chargé de cours à l'Université de Genève et co-auteur de l'étude. Concrètement, on déplorait déjà auparavant que les dispositions de la norme SIA 380/1 étaient en réalité très difficiles à réaliser. Ainsi, en mesurant la température chaque heure pendant toute la période de chauffage dans six bâtiments sélectionnés, les chercheurs genevois ont démontré que la température dans les pièces d'habitation était en réalité de 23 °C en moyenne, et non de 20 °C comme l'indique la norme SIA. Le renouvellement de l'air dans les logements est également nettement plus élevé que 0,7 mètre cube par mètre carré et par heure, comme prévu par la norme SIA, pendant la période de chauffage: le renouvellement d'air réalisé par les dispositifs de ventilation à lui seul s'élève déjà à 1 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> (sans tenir compte de la récupération de chaleur). En tenant compte de l'afflux d'air frais dû à l'ouverture des fenêtres, la valeur augmente à 1,5 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>, conformément à l'estimation des experts.

Comme les scientifiques de l'Université de Genève ont pu le démontrer dans leur étude, des températures intérieures plus élevées et un renouvellement d'air plus important semblent être les facteurs principaux expliquant le Performance Gap lors des assainissements de bâtiments. Une température intérieure «trop élevée» de 3 degrés augmente déjà les besoins en



Dans une étude en 2014, le chercheur genevois Dr Jad Khoury a estimé le Performance Gap sur l'ensemble des bâtiments résidentiels collectifs de Genève. Les économies théoriques stipulées par la norme SIA 380/1 (2009) atteignent 1273 GWh/a, dont 677 GWh/a (soit 53 %) pour les bâtiments construits entre 1946 et 1980. Khoury est arrivé à la conclusion que seuls environ 285 GWh/a de ces 677 GWh/a (marqués en rouge sur le graphique) seraient réalisables sans mesures adaptées.

(Graphique: Rapport final Compare Renove/révision B. Vogel)



Le graphique illustre, pour quatre des bâtiments étudiés (1, 4, 5 et 9, marqués par un point bleu), le Performance Gap entre les économies théoriquement réalisables selon la planification (axe horizontal) et les économies effectivement réalisées (axe vertical). Pour le bâtiment n° 1, l'assainissement a permis de réaliser 65 % du potentiel d'économie (c'est-à-dire environ 370 des env. 570 MJ/m<sup>2</sup>/a planifiés). 35 % ont été réalisés pour le bâtiment 9. Les bâtiments 4 et 5 se trouvent au milieu; ils ont exploité environ la moitié du potentiel d'économie théoriquement possible. La double flèche 1 illustre le potentiel d'optimisation en se basant sur les exigences de confort «réalistes» des habitants (température intérieure de 21,5 °C, renouvellement d'air de 1,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>). La différence restante (double flèche 2) est pratiquement irréalisable car ici, les habitants n'acceptent pas les prescriptions de la norme SIA.

(Graphique: Rapport final Compare Renove/révision B. Vogel)

énergie de chauffage de plus de 30%; à cela s'ajoutent les besoins supplémentaires dus au renouvellement d'air «excessif». Ce faisant, il faut tenir compte du fait que les deux facteurs peuvent avoir des causes communes. Un équilibrage hydraulique insuffisant du système de

chauffage par exemple entraîne des différences de température considérables entre les logements d'un bâtiment, typiquement sur une plage de température entre 21 et 25 °C et les habitants ouvrent alors les fenêtres des logements «surchauffés». «Dans ce contexte, nous comprenons ces

résultats non comme une critique vis-à-vis de la norme SIA, ni vis-à-vis de la qualité des assainissements ou du comportement des utilisateurs», affirme Hollmuller. «Il faudrait plutôt prendre conscience que les assainissements de bâtiments, comme tout processus d'innovation, ne sont pas linéaires et qu'une seule étape ne suffit pas à donner un résultat optimal mais que nous devons viser une amélioration progressive», affirme le scientifique genevois en résumant cette approche avec la notion de «learning by using».

### Conseil d'experts en énergie

Les scientifiques de l'Université de Genève résistent à la tentation d'accepter le Performance Gap comme un fait inévitable. Ils aspirent plutôt à le réduire en estimant le potentiel d'économie effectivement réalisable et à indiquer la manière d'exploiter ce potentiel. Selon les chercheurs genevois, une approche importante consisterait à faire suivre les assainissements par des experts en énergie et d'étendre ce suivi aux travaux de rénovation (Assistance à la Maîtrise d'Ouvrage énergie/AMOen) et à l'exploitation (Assistance à la Maîtrise d'Usage/AMU). Les chercheurs ont appliqué cette méthode avec succès lors de deux études de cas en relation avec l'assainissement de trois bâtiments. Le potentiel d'économie de chauffage planifié pour ces bâtiments a pu être réalisé nettement plus efficacement. Si 65 % du potentiel calculé dans la planification des dix bâtiments ont été exploités comme indiqué ci-dessus, ce chiffre a pu atteindre 80 % dans les deux cas (cf. graphique 08). Ceci a été possible, entre autres, grâce à la réduction de la température intérieure à 21,5 °C, une température acceptée par les habitants, et grâce à un meilleur réglage des installations techniques. L'OFEN a financé une partie de ces travaux d'optimisation dans le cadre de son programme pilote et démonstration.

### Impliquer tous les acteurs

Sur la base de leurs résultats de recherche, les scientifiques ont formulé une série de recommandations détaillées pour réduire le Performance Gap. Ce faisant, ils n'ont pas listé uniquement les mesures adaptées mais des responsabilités claires à respecter pendant le processus de rénovation complet. Les recom-

mandations s'appuient sur des interviews avec des experts qui exercent dans la pratique et dans le monde académique, dont les propositions ont été complétées par des conseils de la littérature correspondante (cf. tableau 07). « Pour exploiter le potentiel énergétique, tous les acteurs impliqués dans le processus d'assainissement doivent améliorer les pratiques actuelles. Cela débute avec un audit énergétique et se termine avec l'utilisation des bâtiments par les habitants et les techniciens», affirme Jad Khoury. Entre-temps, Khoury est passé aux Services industriels de Genève (SIG) et y exerce en tant que responsable de la planification énergétique pour les projets de développement urbains. Les SIG, une exploitation publique juridiquement indépendante, approvisionnent le canton de Genève en chaleur, en gaz et en eau, exploitent un réseau optique et s'occupent de l'élimination des déchets.

Selon les informations de Jad Khoury, les SIG préparent actuellement de nouvelles prestations qui devraient permettre de

### La contre-valeur des assainissements énergétiques

Les rénovations, et surtout celles de l'enveloppe des bâtiments, coûtent beaucoup d'argent. Elles apportent également une contre-valeur considérable en termes d'efficacité énergétique, ce qui se reflète dans la baisse des frais d'exploitation. Dans leur étude, les chercheurs de l'Université de Genève ont estimé le niveau d'amortissement des assainissements énergétiques par les économies réalisées. Le point important de leur approche: ils basent leur calcul uniquement sur les frais d'assainissement visant vraiment à l'amélioration du standard énergétique et non pas sur les frais dépensés pour l'amélioration du confort ou la conservation de la valeur des bâtiments.

Les scientifiques arrivent à la conclusion suivante: «En se basant sur les prix actuels de l'énergie et les dispositions légales en vigueur, les rénovations selon le standard Minergie s'approchent du seuil de rentabilité. Pour y parvenir également avec les rénovations Minergie-P, des efforts supplémentaires devront être fournis.» Toutefois, il faut tenir compte du fait que les auteurs font l'hypothèse d'une subvention de 25 % des assainissements énergétiques.



## La solution complète pour les métiers de la construction

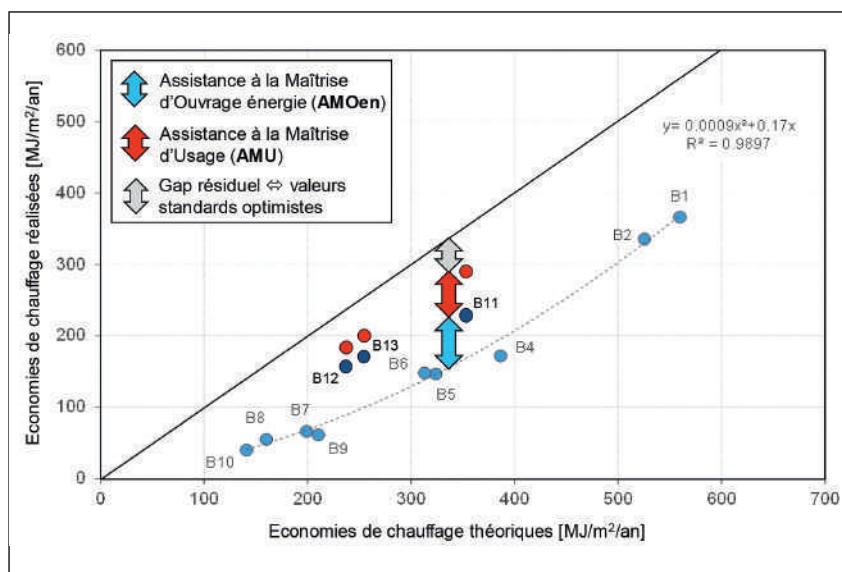
- Offres libres ou selon le CAN grâce à l'interface SIA 451, avec calculation et comparaison d'offres
- Saisie mobile des prestations sur chantier avec iPad
- Contrôle des budgets et post-calculation avec salaires de la construction
- Gestion des ordres d'intervention et des contrats

[www.abacus.ch](http://www.abacus.ch)



Recommandations pour diminuer l'écart de performance				
				Acteurs impliqués en priorité
				P : Propriétaire, Maître d'ouvrage   A : Architecte   I : Ingénieur E : Entreprise (maître, exploitant)   B : Gestionnaire, régie   U : Utilisateurs, locataires
Environnement	Etat des lieux	Conception	Réalisation	Mise en service
Préparation	<ul style="list-style-type: none"> <li> bien cerner les attentes et les moyens, distinguer entre les calculs normés et un objectif réaliste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> favoriser une rénovation globale ou par étapes selon un planning prédefini</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> contrôler rigoureusement la qualité de l'exécution, valider la réalisation, actualiser les résultats calculés en cas de changement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> ajuster continuellement les systèmes et règles selon les conditions réelles d'utilisation</li> </ul>
Instrumentation	<ul style="list-style-type: none"> <li> caractériser l'état existant et identifier la situation énergétique initiale (périmètre, bâtiment, postes de consommation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> favoriser des solutions simples, efficaces et robustes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> respecter les spécifications et les détails constructifs, contrôler la conformité des travaux exécutés aux cahiers des charges</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> regrouper lors de la mise en service tous les acteurs concernés, faire des contrôles périodiques pendant la première année d'exploitation</li> </ul>
Intervention	<ul style="list-style-type: none"> <li> assurer les différents acteurs assez tôt dans le projet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> clarifier les responsabilités et les rôles, élaborer un cahier de charges complet et une stratégie de rémunération liée à la performance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> analyser finement les réponses aux appels d'offre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> éviter la rupture dans la chaîne de responsabilité entre les acteurs et transmettre la responsabilité à l'exploitant</li> </ul>
Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li> prendre en compte les expériences tirées des projets précédents et les bonnes pratiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> veiller à avoir un personnel qualifié et expérimenté (formation continue, ...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> favoriser l'émergence d'une offre mieux coordonnée et plus performante (acrédition des professionnels, ...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> former les gestionnaires de l'énergie aux dimensions techniques, humaines et organisationnelles du management de l'énergie</li> </ul>
Vieillissement	<ul style="list-style-type: none"> <li> se renseigner sur le plan de maintenance et d'exploitation des installations et sur l'équipe en charge du suivi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> prévoir une stratégie de mesure et de suivi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> mettre en place le système de mesure pour le suivi énergétique et les alarmes nécessaires pour détecter les dysfonctionnements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> s'assurer que le suivi est organisé et informer et expliquer les systèmes et règles, documentation écrite</li> </ul>
Renouvellement	<ul style="list-style-type: none"> <li> prendre en compte les feedbacks des usagers et des exploitants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> s'assurer de l'engagement des acteurs et créer une atmosphère de confiance, mettre en place une équipe pluridisciplinaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> favoriser l'échange d'informations et les synergies entre les acteurs, jeu utilisation d'outils BIM, partage d'expérience et de savoirs pluridisciplinaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> s'assurer du bon déroulement de protocoles de mise en service, manuels, infos des fournisseurs, mise à jour des plans et schémas</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li> donner un feedback aux concepteurs et à tous les acteurs concernés, favoriser les retours d'expérience et diffuser les meilleures pratiques</li> </ul>

Les recommandations concernant la réduction du Performance Gap s'étendent à toutes les étapes du processus d'assainissement.  
(Tableau: Rapport final Compare Renove)



En vue de réduire le Performance Gap, les scientifiques de l'Université de Genève proposent que tous les assainissements de bâtiment devraient être suivis par des experts en énergie pendant la réalisation (Assistance à la Maîtrise d'Ouvrage énergie/AMOen) puis pendant l'exploitation (Assistance à la Maîtrise d'Usage/AMU). Les deux doubles flèches en bleu et rouge indiquent que les activités d'optimisation ont permis une amélioration considérable de l'exploitation du potentiel d'économie planifié pour le bâtiment 11. Les bâtiments 12 et 13 ont obtenu un succès similaire.

(Graphique: Rapport final Compare Renove/révision B. Vogel)

réduire le Performance Gap observé lors des rénovations de bâtiments. «Les prestations AMOen et AMU sont actuellement testées dans des projets pilotes et seront disponibles à partir de l'année prochaine. De tels concepts sont connus aux Etats-Unis et au Canada mais sont encore très peu appliqués en Suisse», affirme Khoury. Ils permettraient d'appliquer les résultats de l'étude efficacement dans le quotidien genevois. Dans l'idéal, l'initiative genevoise pourrait alors faire office

de modèle pour toute la Suisse. Khoury voit les principaux liens dans la phase de mise en service. «C'est là que se situent la plupart des failles, car le transfert des entreprises impliquées dans la construction aux utilisateurs du bâtiment est souvent insuffisamment traité.» Les SIG réalisent déjà un projet pilote en collaboration avec le canton de Genève. Ce projet vise à augmenter le nombre et la qualité des rénovations énergétiquement efficaces. ■



Les deux auteurs principaux de l'étude en bâtiment de Genève: D' Pierre Hollmuller (ci-dessus) et D' Jad Khoury (dont le doctorat a fortement contribué à l'étude en question).



## Remarques

Vous trouverez le rapport final du projet «Compare Renove» sous: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=34174>

Rolf Moser ([moser@enerconom.ch](mailto:moser@enerconom.ch)), directeur du programme de recherche de l'OFEN Bâtiments et villes, communique des informations supplémentaires concernant ce projet.

Vous trouverez d'autres articles spécialisés sur les projets de recherche, les projets pilotes et de démonstrations ainsi que les projets phares dans le domaine Bâtiments et villes sur [www.bfe.admin.ch/CT/batiments](http://www.bfe.admin.ch/CT/batiments).