

La réglementation des bâtiments à l'heure de la neutralité carbone

Dominique Auverlot*

@ 11359

La nouvelle réglementation environnementale des bâtiments, la RE2020, se doit d'intégrer les principes de neutralité carbone prévus par l'Accord de Paris et la nouvelle loi énergie-climat. C'est une évolution majeure qui pose de nombreux problèmes méthodologiques et pratiques. Elle nécessite que soient clairement posés les principes auxquels on veut répondre... Le recul des énergies fossiles et la réduction des émissions de gaz à effet de serre deviennent ainsi prioritaires dans une perspective de neutralité carbone à 2050 : cette transition doit être déclinée, de façon pragmatique et compréhensible de chacun d'entre nous, non seulement dans le choix des matériaux de construction et des sources d'énergie, mais également dans le choix des indicateurs associés à cette nouvelle réglementation.

Dans le courant de l'année 2020, sera publiée une nouvelle réglementation des bâtiments destinée à encadrer, sur le plan énergétique, la conception et la construction des nouveaux bâtiments. Mais depuis la précédente réglementation, entrée en vigueur en 2012, sont intervenus successivement l'Accord de Paris en 2015 qui retient, comme objectif global, l'atteinte de la neutralité carbone dans la seconde moitié de ce siècle, puis la loi énergie-climat — adoptée en lecture finale par l'Assemblée nationale puis le Sénat en septembre — qui avance pour la France cet objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050. Cette notion doit désormais guider toutes les parties prenantes dans la conception de la politique énergétique, ainsi que dans la préparation de la nouvelle réglementation des bâtiments. Les précédentes réglementations, la

RT2012 notamment, concernaient principalement l'efficacité énergétique et le déploiement des énergies renouvelables. La nouvelle réglementation, baptisée réglementation environnementale 2020 ou RE2020, doit donc élever au rang de ses priorités principales la réduction des émissions de gaz à effet de serre et préparer ainsi la transition vers la neutralité carbone. Elle bénéficiera à cet effet des enseignements de la démarche collective d'expérimentation, dite E+ C-, lancée depuis 2016 pour encourager la construction de bâtiments à énergie positive (E+) et à faible empreinte carbone (C-) et préfigurer ainsi la réalisation de bâtiments plus performants que ne le prévoyait la RT2012.

Deuxième évolution forte depuis le début des années 2010, nous commençons à comprendre, ou plutôt à percevoir, à l'occasion de certains phénomènes météorologiques, que l'augmentation de température d'un à deux degrés que nous devrions connaître d'ici 2050 est loin d'être anodine. Elle va se traduire dans notre pays par des événements météorologiques extrêmes qui sortent de nos règles habituelles de dimensionnement et auxquels

* Ministère de la Transition écologique et solidaire (cf. biographies p.87-88).

L'auteur tient à remercier Jean-Pierre Hauet pour les très nombreux échanges qu'il a eus avec lui sur ce sujet ainsi que Mickael Thiery et Emmanuel Acchiardi, respectivement adjoint au sous-directeur et sous-directeur, en charge de la sous-direction de la Qualité et du Développement durable dans la Construction, pour leur soutien. Le texte final ne les engage cependant en rien.

nous devons nous préparer : épisodes de froid polaire ou de canicule extrême pouvant durer plusieurs dizaines de jours, sécheresse prolongée, pluies particulièrement intenses... Elle devrait également accentuer les phénomènes de gonflement et de retrait des sols argileux entraînant ainsi de nombreux dégâts dans le bâti existant.

Troisième évolution enfin, la réorientation de la notion de bâtiment à énergie positive : cette idée, conçue en 2005, s'est imposée comme objectif à 2020 lors du Grenelle de l'environnement et cherche à encourager la construction de bâtiments qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment. Elle a ainsi permis de réduire la consommation énergétique des bâtiments par trois par rapport aux anciennes réglementations thermiques et a entraîné tout le secteur dans le bon sens en conduisant à de nombreuses innovations. Mais, en ne s'adressant qu'à l'aspect énergétique et non à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, elle constitue une réponse « déviée » pour reprendre les termes d'Alain Maugard¹ : elle doit donc être réorientée. Il est désormais souhaitable de dépasser le simple bilan quantitatif auquel pourrait faire penser cette notion et qui, dans une approche simpliste, pourrait conduire à se contenter de couvrir les toitures de panneaux solaires photovoltaïques (ce qui serait plus coûteux que de les installer à même le sol ou sur de grandes toiture plates) : il faut désormais gérer de façon intelligente et au moindre coût l'énergie à l'échelle d'un îlot ou d'un quartier, en veillant à ce que le système énergétique ainsi conçu à l'échelle locale émette le moins possible d'émissions de gaz à effet de serre. Cependant, dans un monde neutre en carbone, l'énergie décarbonée ne sera pas forcément abondante, nous avons donc tout intérêt à en réduire la consommation et à continuer à nous inscrire ainsi dans la voie tracée par l'objectif du BE-POS. C'est d'ailleurs le sens de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments qui prévoit la généralisation des bâtiments à consommation d'énergie quasi-nulle en 2020.

Dernier élément important enfin à prendre en considération, le Haut conseil pour le climat nous rappelle dans son premier rapport paru en juin de cette année que le rythme actuel de réduction de nos émissions de gaz à effet de serre (1,1 % par an de 2015 à 2018) est bien trop faible par rapport aux 3 % que nous devons dépasser en 2025 : nous devons donc changer de « braquet ».

Cet article, divisé en trois parties, cherche d'abord à préciser les principes qui doivent guider cette nouvelle réglementation thermique, puis dans un second temps à esquisser les implications concrètes qu'ils entraînent avant de proposer quelques réflexions sur les indicateurs qui pourraient être retenus et sur leurs valeurs.

De la réglementation 2012 à la future réglementation thermique RE2020

Un monde dans lequel la température moyenne de la planète serait en augmentation de 4 °C serait un monde dans lequel la zone intertropicale deviendrait quasiment inhabitable, dans lequel l'acidification des océans entraînerait la disparition du plancton et d'une grande partie de la vie marine, dans lequel le désert saharien commencerait à envahir le sud de l'Europe et dans lequel les habitants de l'hémisphère nord se réfugieraient dans le nord des continents : c'est la tendance vers laquelle nous emmènent nos émissions actuelles. Nous devons donc réduire drastiquement nos émissions et adopter, comme l'envisage l'Accord de Paris et comme vient de le faire la loi relative à l'énergie et au climat, un objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050.

Le rapport du GIEC, paru en octobre dernier, sur les effets d'un réchauffement climatique de 1,5 °C au-dessus des niveaux préindustriels, souligne de plus que les efforts mondiaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre envisagés aujourd'hui par les différents pays à 2030 sont nettement insuffisants. La réduction de nos émissions de gaz à effet de serre doit

dès lors devenir une priorité transverse à l'ensemble de notre économie et le volet énergie-climat de la RE2020 doit adopter la neutralité carbone en 2050 comme principal objectif.

La neutralité carbone modifie profondément l'esprit de la réglementation thermique

L'inscription dans la loi de neutralité carbone à l'horizon 2050 est loin d'être anodine. D'un point de vue purement quantitatif, il s'agit de remplacer la division par quatre d'ici 2050 de nos émissions de gaz à effet de serre par un facteur six. Mais, en rester à cette considération purement arithmétique serait une erreur, ce changement traduit une évolution beaucoup plus fondamentale de notre manière de concevoir la lutte contre le changement climatique : compte-tenu des émissions difficilement réductibles de notre secteur agricole, il s'agit désormais d'aboutir à des émissions nulles ou quasi-nulles du secteur énergétique. Autrement dit, il convient de « sortir » dans toute la mesure du possible des hydrocarbures fossiles qui constituent le fondement de notre socle énergétique actuel. Il s'agit donc bien d'apprendre à se passer certes du charbon, mais aussi du pétrole et du gaz naturel. Certes, nous pourrions continuer à utiliser de telles sources énergétiques si elles s'inscrivent dans un processus zéro carbone de production de biocarburants ou de gaz renouvelables, mais le pétrole et le gaz d'origine renouvelable ne devraient malheureusement être disponibles qu'en quantité limitée.

La déclinaison du facteur 4, autrement dit de la réduction par quatre de nos émissions à 2050, faisait la part belle à l'efficacité énergétique, il « suffisait » de remplacer une chaudière existante par une chaudière nettement plus performante associée à un renforcement de l'isolation pour atteindre ce coefficient : une chaudière au fuel ou au gaz pouvait donc être remplacée par une chaudière plus performante au... fuel ou au gaz. La neutralité carbone, autrement dit le chemin vers des émissions nulles de l'énergie, ne permet plus ce type de solution : elle se traduit donc naturellement par l'idée d'interdire les chaudières au fuel et de

remplacer dès que possible les chaudières à gaz par d'autres installations plus proches de la neutralité carbone.

La nécessaire hiérarchisation des objectifs

Les politiques énergétiques reposent classiquement sur trois piliers : la sécurité d'approvisionnement, un coût aussi bas que possible (permettant l'accès à l'énergie dans des conditions acceptables), une énergie décarbonée et dépolluée (pour lutter contre le climat et la pollution locale). Le développement de l'efficacité énergétique aussi bien que le développement des EnR ne figurent pas dans cette énumération : ce sont des moyens au service des objectifs précédents.

Comme nous venons de le voir, la loi de 2005 et le Grenelle de l'environnement ont implicitement admis l'idée selon laquelle il suffisait pour atteindre le facteur 4 d'améliorer l'efficacité énergétique de chacune des énergies fossiles, fuel et gaz notamment. Dès lors que la neutralité carbone oblige au contraire à sortir du charbon, puis du fuel, puis du gaz d'origine fossile, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la sortie des hydrocarbures d'origine fossile doivent devenir la priorité principale du volet énergie de la RE2020. L'efficacité énergétique et le déploiement des énergies renouvelables qui ont constitué l'essentiel de l'action de la RT2012 doivent être poursuivies mais elles ne suffisent pas à atteindre la neutralité carbone.

Il ne s'agit pas pour autant de relâcher la contrainte :

- ni sur la consommation énergétique qui permet (i) de diminuer les émissions de GES (tant que l'énergie n'est pas entièrement décarbonée), (ii) d'abaisser la contrainte qui pèsera dans un monde décarboné sur des ressources limitées, (iii) de baisser la facture des ménages et (iv) de limiter les investissements de capacité (puissance de la chaudière et diamètre des canalisations pour le réseau de chaleur, maintien d'une puissance garantie et d'une capacité de transport et de distribution électriques suffisantes...);

La rénovation thermique d'un immeuble parisien de grande hauteur raccordé au réseau de chaleur de la CPCU

Une absence de hiérarchisation des priorités entre les différents objectifs que constituent la réduction des émissions de GES, l'efficacité énergétique et le déploiement des énergies renouvelables peut entraîner des conflits de priorité et l'inefficacité des actions dans la lutte contre le changement climatique

Prenons un immeuble de grande hauteur raccordé au réseau de chaleur et posons-nous la question de savoir ce qui serait le plus efficace en matière de rénovation thermique :

- a) mettre des panneaux solaires sur le toit ou dans la cour;
- b) isoler l'ensemble de l'immeuble;
- c) décarboner le combustible qui sert à alimenter le réseau de chaleur.

Si l'argent est abondant, on peut tout faire. Mais, s'il y a une contrainte budgétaire, que doit-on faire?

- a) Si la priorité est l'efficacité énergétique, on isole (en disant que ce sera rentable grâce aux économies d'énergie);
- b) Si la priorité est de développer les énergies renouvelables, on met des panneaux solaires;
- c) Si la priorité est la réduction des émissions de gaz à effet de serre, on veille à ce que le combustible utilisé par le réseau de chaleur soit décarboné, que ce soit par du bois énergie (et non du bois d'œuvre) résultant d'une gestion durable de la forêt, des ordures ménagères, de la géothermie, du gaz naturel bénéficiant d'un dispositif de capture du CO₂, ou de biogaz dans la mesure où sa production serait suffisante pour assurer cet usage dans une situation de neutralité carbone.

Cet exemple, certes caricatural, illustre de fait les difficultés qui se posent dès lors que les objectifs énergétiques ne sont pas hiérarchisés. Dans les trois cas, l'argent est utilisé de manière très différente : a) dans les logements, b) dans la production d'électricité, c) dans le réseau de chaleur.

Si la neutralité carbone à 2050 est retenue comme l'objectif principal, l'action prioritaire consistera à modifier le combustible qui alimente la CPCU (et à passer du gaz à de la biomasse*, à d'autres énergies décarbonées ou à recourir à la capture et au stockage du CO₂). En parallèle, la copropriété pourra se lancer ou non dans des travaux d'isolation (qui peuvent être rentables, mais dont la priorité n'est que seconde pour la puissance publique). Enfin, des opérateurs pourront proposer à la copropriété d'installer des panneaux solaires sur les toits (dans le cadre d'appels d'offres pour le déploiement des panneaux solaires ne distinguant pas le type d'installation au sol ou en toiture : si la surface vient à manquer, les opérateurs proposeront naturellement d'installer des panneaux solaires sur les toits).

Cet exemple est probablement trop caricatural. En pratique, il est nécessaire de travailler sur les deux facteurs : la réduction des émissions et la diminution de la consommation. La baisse de la consommation énergétique a en effet un triple avantage : elle permet de baisser les émissions de GES tant que l'énergie n'est pas entièrement décarbonée, de limiter les investissements de capacité (puissance de la chaudière, diamètre des canalisations...) dans le réseau chaleur, et, enfin, de limiter la facture énergétique du consommateur. Le développement des énergies renouvelables est enfin et bien entendu souhaitable dans un monde neutre en carbone.

À l'inverse, et même si l'optimum économique n'est pas facile à déterminer, cet exemple montre bien que le seul critère de la consommation énergétique n'est pas suffisant pour déterminer les actions prioritaires à mettre en œuvre. Le prix de la tonne de CO₂ évité constitue dans tous les cas un guide très utile, sinon indispensable, pour l'action publique.

** Ce prélèvement doit naturellement s'intégrer dans une gestion durable du gisement de biomasse concerné.*

La réglementation des bâtiments à l'heure de la neutralité carbone

- ni sur le déploiement des énergies renouvelables qui seront indispensables dans un monde neutre en carbone où la ressource énergétique deviendra une ressource rare.

Ainsi que le souligne l'encadré en page précédente, dans le cas de la rénovation thermique d'un immeuble de grande hauteur raccordé à un réseau de chaleur, les différentes interventions possibles (changement du combustible du réseau de chaleur, isolation extérieure, panneaux solaires photovoltaïques sur le toit) montrent qu'à dépenses égales, les actions menées au nom soit de la réduction des émissions, soit de l'efficacité énergétique ou soit encore du déploiement des énergies renouvelables peuvent avoir des effets très différents sur la réduction des émissions.

Des rythmes différents d'évolution vers la neutralité carbone

Nous ne pourrions pas construire des bâtiments neutres en carbone du jour au lendemain. Nous pouvons cependant adopter des rythmes différents de réduction des sources d'émissions de gaz à effet de serre d'un nouveau bâtiment suivant leur nature :

- les émissions en exploitation (chauffage/ventilation/climatisation) existeront durant toute la vie du bâtiment. Elles doivent donc tendre vers zéro le plus vite possible pour que les bâtiments construits aujourd'hui soient neutres en carbone en 2050. Pour les bâtiments pour lesquels cette neutralité carbone serait trop difficile à atteindre dès aujourd'hui, en particulier pour ceux qui, situés en centre-ville ne pourraient être raccordés à un réseau de chaleur décarboné (ou qui devrait l'être dans un futur proche!), il est souhaitable de mettre en œuvre des dispositifs qui, le moment venu, pourront basculer vers la neutralité carbone : c'est le cas notamment d'un chauffage hybride qui devrait basculer progressivement d'une énergie carbonée, dont l'externalité carbone sera de plus en plus onéreuse, vers une énergie décarbonée;

- les émissions à la construction doivent également tendre vers zéro mais seulement à l'horizon 2050 : autrement dit, il s'agit de

commencer à s'inscrire dans une trajectoire forte de réduction des émissions à l'horizon 2050, mais, à la différence des émissions en exploitation, il n'est pas nécessaire de construire dès maintenant des bâtiments zéro émission, ce qui serait d'ailleurs probablement hors de portée. Il nous faut certes commencer à augmenter le recours au bois de construction et à utiliser des bétons dont la fabrication entraînera nettement moins d'émissions, mais nous pouvons nous inscrire là dans une dynamique progressive, en tenant compte néanmoins des avancées extrêmement positives de certaines technologies.

Concrètement, comme nous le verrons plus loin, ceci doit se traduire par des indicateurs différents pour les émissions en exploitation et à la construction : un unique bilan global en ACV ne permettrait pas de distinguer suffisamment ces deux objectifs aux dynamiques très différentes.

Comment assurer le confort thermique? Les canicules de l'été 2019 ne sont qu'un avant-goût de ce qui nous attend

Les épisodes de canicule constatés aux mois de juin et de juillet de cette année ont conduit à de nombreux records de température en France, mais aussi dans les autres pays européens, avec des valeurs dépassant les 40 °C en plusieurs endroits du territoire. L'Agence océanique et atmosphérique américaine NOAA a récemment annoncé que le mois de juillet 2019 a été le plus chaud jamais mesuré. Ces épisodes ne sont malheureusement probablement qu'un avant-goût des canicules que nous allons devoir affronter dans le courant de ce siècle : la Figure 1, réalisée par Météo France et reprise dans le rapport du Sénat sur l'adaptation², montre que dans un scénario du laisser-faire, dans lequel la température augmenterait de 4 °C en fin de siècle, nous devrions nous attendre entre 2070 et 2100 à des épisodes de chaleur supérieurs de quelques degrés à la canicule de 2003, mais surtout d'une longueur beaucoup plus importante pouvant dépasser les 60 jours, voire atteindre les 90 jours.

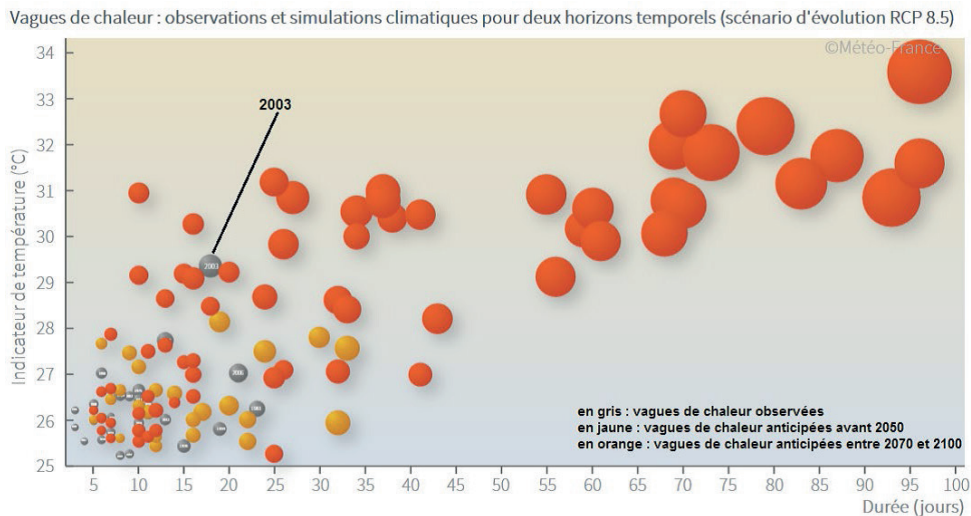


Figure 1. La durée et l'intensité des futures vagues de chaleur (2070-2100)

Source : Météo France

Le rapport sénatorial décrit en particulier le phénomène « d'îlot de chaleur urbain » qui conduit à une température supérieure de plusieurs degrés dans les centres-villes aux zones rurales environnantes. Il recommande d'une part de revoir l'aménagement urbain, en développant notamment la végétalisation dans les centres-villes, et de mettre la question du confort thermique du bâti en période de forte chaleur au centre des réflexions sur la norme RT2020 en cours d'élaboration. De fait, dans la discussion de la loi énergie-climat, le Sénat a voté en juillet un amendement modifiant le code de la construction et de l'urbanisme (article L111-9) et intégrant explicitement le confort thermique dans les objectifs que doivent permettre d'atteindre les performances énergétiques des bâtiments neufs.

Il reste cependant à traduire cette obligation dans la réglementation : l'évolution rapide du climat nous montre que le recours aux observations passées ne permet de prévoir ni l'ampleur ni la fréquence des canicules auxquelles les bâtiments que nous construisons aujourd'hui seront confrontés en 2070-2080. Dès lors, la solution la plus simple serait de concevoir des bâtiments passifs, sans climatisation, dimensionnés pour apporter un confort suffisant par rapport à une canicule de

probabilité faible. Mais, outre que cette solution serait probablement d'un coût élevé et conduirait vraisemblablement à transformer en « blockhaus » nos habitations, une canicule plus forte que celle utilisée pour dimensionner le bâtiment ou l'ouverture malencontreuse d'une fenêtre pourraient conduire à des situations d'inconfort thermique et à des conséquences dramatiques pour les personnes les plus fragiles, les personnes âgées en particulier. Sauf dans les cas particuliers où ils sont obligatoires³, l'application de la réglementation thermique actuelle a conduit à quasiment exclure de la construction des bâtiments d'habitation les dispositifs de refroidissement actif : leur mise en place accroît en effet la consommation énergétique dans les bilans énergétiques calculés et rend d'autant plus contraignant le seuil de consommation à ne pas dépasser. Les tenants de l'efficacité énergétique à tout prix s'en réjouiront. Pourtant cette disposition conduit, ainsi que le souligne le rapport du CGE-CGEDD sur le bilan de la réglementation thermique 2012, reprenant notamment des réflexions du plan bâtiment durable, à ce que « des critiques s'élèvent à propos du problème du confort d'été et des surchauffes dans des bâtiments très bien isolés ». Le rapport du CGE-CGEDD est encore plus net lorsqu'il souligne que la RT2012 laisse construire des bâtiments

inadaptés au confort d'été et au changement climatique. Très concrètement, ceci conduit les occupants des logements concernés à s'équiper d'appareils de climatisation portables qui ne sont pas spécialement performants et ne sont pas intégrés au logement. Le chiffre d'affaires des ventes de ventilateurs/climatiseurs a ainsi été multiplié par cinq durant la dernière semaine de juin de cette année par rapport à 2018, selon le cabinet Nielsen⁴ : ce n'est pas la meilleure solution et rappelle les errements constatés en hiver sur les radiateurs d'appoint.

Il est de fait bien plus efficace d'intégrer dès la conception le besoin d'un système de refroidissement : il est en effet possible d'optimiser la conception d'un système permettant le chauffage du logement et de l'eau chaude sanitaire et intégrant la fonction climatisation sans dépense supplémentaire excessive, si ce besoin est bien pris en compte à la conception.

On pourra objecter, non sans raison, qu'une telle conception viendra augmenter la consommation énergétique et, plus grave, qu'elle incitera le consommateur à utiliser une climatisation dans des situations qui ne le nécessitent pas réellement. C'est certainement vrai, mais il est clair que les considérations sanitaires doivent l'emporter sur les considérations énergétiques et que la consommation supplémentaire devrait être modérée si le besoin est pris en amont lors de la conception. De plus, des panneaux solaires pourraient fournir de grandes quantités d'énergie durant les périodes chaudes de la journée dans un couplage solaire-refroidissement qui pourrait être encouragé par la réglementation.

Les applications concrètes de cette nouvelle approche du volet énergétique de la réglementation thermique

Comme nous venons de le voir, la lutte contre le changement climatique conduit à prendre en compte l'Accord de Paris et la nécessaire réduction des émissions de gaz à effet de serre, à sortir des hydrocarbures fossiles et

également à envisager les nouvelles situations météorologiques auxquelles seront soumises les constructions qui seront mises en chantier dans les prochaines années, avec en particulier des épisodes de canicule particulièrement longs.

Réduire très fortement l'usage du gaz d'origine fossile et développer le gaz d'origine renouvelable

À 2050, l'exercice 100 % gaz renouvelable de l'ADEME envisage non seulement une division par quatre de la consommation de gaz dans le résidentiel tertiaire (60 TWh contre 235 en 2015), mais également un remplacement du gaz d'origine fossile par du gaz d'origine renouvelable. Le rapport de la CRE de juillet 2019 sur le gaz d'origine renouvelable⁵ souligne pour sa part qu'au terme de l'analyse de ses différentes technologies de production, la méthanisation apparaît comme la technologie la plus mature et présente le modèle économique le plus crédible pour assurer la production de biométhane de première génération, à condition de bénéficier d'une intervention publique dont une partie peut correspondre à ses externalités positives. Il précise de plus qu'au regard des ressources disponibles sur le territoire, l'objectif d'une production représentant 10 % de la consommation de gaz en 2030 est réaliste, soit une production de 39 à 42 TWh de biométhane pour des coûts qui ne devraient pas excéder deux ou trois fois le prix du gaz aujourd'hui importé et qui peuvent être réduits si l'on intègre les externalités associées à la méthanisation.

Au-delà de cette date, le rapport souligne que d'autres sources de production sont possibles (production de biométhane à l'aide de cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) sur l'ensemble du territoire) et que d'autres technologies de gaz vert (pyrogazéification et *power-to-gas*) sont également susceptibles de prouver leur maturité à cet horizon. Il insiste également sur la possibilité de recourir à la capture et au stockage du CO₂. Mais ces techniques restent hypothétiques et ont un coût aujourd'hui élevé. Dans un monde neutre en carbone, ce gaz sera d'abord utilisé

pour l'industrie et la production d'électricité en pointe ou en semi-pointe (de l'ordre de 100 TWh pour ces deux usages), ainsi que pour les installations de chauffage qui subsisteraient au gaz. La prochaine décennie devrait nous permettre de mieux cerner les quantités de gaz renouvelables disponibles et leurs coûts de production.

Sans assurance de pouvoir disposer de quantités plus importantes de gaz renouvelable à des coûts raisonnables, il convient de réduire très fortement la consommation de gaz dans le résidentiel-tertiaire existant et de ne pas la développer dans le résidentiel tertiaire neuf lorsque c'est possible. Ne pas le faire ferait courir le risque, si nous n'arrivions pas à produire plus de gaz renouvelable à des prix acceptables, de devoir continuer à utiliser du gaz naturel en grande quantité dans le futur en ne respectant pas les objectifs de réduction d'émissions, ou de les respecter mais à des coûts très élevés.

Confrontés à cette même problématique et constatant son retard dans les objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre qu'elle s'était fixés, la ville de Berkeley aux États-Unis a décidé d'interdire l'installation du gaz dans les nouvelles constructions (sauf exception, notamment pour des ajouts à une construction existante) à partir de janvier 2020⁶. D'autres villes de Californie pourraient adopter des réglementations similaires dans un futur proche. Dans leur agenda énergétique de 2017 qui envisage la transition vers la neutralité carbone à 2050, les Hollandais envisagent de ne plus installer de canalisations de gaz dans les nouveaux quartiers en construction⁷. Depuis juillet 2018, l'absence de raccordement au réseau de gaz est ainsi devenue la règle et le raccordement l'exception nécessitant une autorisation explicite de l'autorité locale. Le Conseil pour le climat britannique recommande pour sa part de ne plus raccorder de nouvelles constructions au réseau de gaz au plus tard à partir de 2025.

De manière concrète, ceci conduit pour la France à :

- renoncer, bien entendu, à toute nouvelle utilisation du fuel ou du charbon ;
- encourager les solutions les moins émettrices de CO₂ dans un contexte où le gaz se trouve en compétition avec l'électricité et la biomasse pour la production de chaleur/ventilation/climatisation et ainsi privilégier des énergies décarbonées : les réseaux de chaleur (décarbonés ou qui devraient être sur le point de l'être), les PAC, le recours à la biomasse ou à la géothermie ;
- envisager de ne plus raccorder de nouvelles constructions au réseau de gaz à partir d'une date à déterminer, mais pas trop éloignée. Cette imposition pourrait faire l'objet de dérogations explicites de la part de l'autorité locale comme le font aujourd'hui les Pays-Bas ;
- imposer lorsque la solution gaz vient à être retenue, l'installation, chaque fois qu'elle est possible, de pompes à chaleur hybrides gaz/électricité⁸ ou, notamment dans les logements collectifs, de systèmes hybrides (associant un chauffage au gaz et un chauffe-eau thermodynamique) dans les nouvelles constructions. Les chauffe-eau thermodynamiques (qui associent une pompe à chaleur air/eau⁹ à un ballon d'eau chaude) sont désormais parvenus à maturité grâce à la réglementation 2012 qui a conduit à les privilégier dans les maisons individuelles chauffées au gaz¹⁰.

Deux des enjeux énergétiques de la prochaine décennie consisteront donc, dans le domaine de l'innovation, à :

- développer des pompes à chaleur, silencieuses et à bas coût, utilisables pour le chauffage dans des bâtiments collectifs : leur déploiement pourrait permettre la décarbonation du résidentiel tertiaire en ville, en complément des réseaux de chaleur décarbonés ;
- produire du gaz renouvelable en grande quantité et à faible coût : une telle production modifierait en effet l'équation. Notons cependant que, compte tenu des rendements des différentes réactions, il est plus efficace et donc préférable d'utiliser du bois (énergie) directement pour le chauffage d'un logement plutôt que de le pyrogazéifier pour chauffer le même logement avec du gaz renouvelable.

Dans le logement existant, le Haut conseil pour le climat britannique propose d'installer 10 millions de pompes à chaleur hybrides (fonctionnant soit au gaz, soit à l'électricité en fonction du coût des énergies et de la chaleur à fournir) d'ici 2035. Ces PAC devraient permettre en effet de basculer progressivement du gaz d'origine fossile soit vers l'électricité, soit, éventuellement vers de l'hydrogène décarboné. Ce même Haut conseil envisage également le développement du biométhane, mais il juge cependant son potentiel limité pour le Royaume-Uni à 5 % des usages.

Privilégier l'usage du bois dans la construction

Le principal gain dans la lutte contre le changement climatique permis par l'utilisation du bois dans la construction (ou dans l'ameublement) réside dans sa substitution à d'autres matériaux (béton, acier, plâtre, aluminium...) et dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre que leur fabrication entraîne¹¹. La vision de l'utilisation du bois dans la RE2020 doit bien évidemment s'intégrer dans les orientations générales retenues pour assurer une gestion durable de la forêt sur le long terme permettant sa résilience aux stress climatiques et garantissant dans le temps la conservation et le renforcement des puits et des stocks de carbone¹². Ces orientations permettent d'envisager une augmentation de la commercialisation de bois de 12 Mm³ par an à l'horizon 2026 et un accroissement — limité mais réel — de son utilisation dans la construction ou l'ameublement.

A contrario, la combustion du bois émet beaucoup de gaz à effet de serre (à peu près autant que le charbon, un peu plus ou un peu moins, suivant le degré d'humidité du bois) ainsi que d'autres polluants (monoxyde de carbone, poussières, hydrocarbures aromatiques polycycliques, etc.). L'usage du bois comme source directe d'énergie est donc à déconseiller sauf si le bois utilisé, dit bois énergie, est un bois qui serait perdu par ailleurs et relâcherait en se décomposant le CO₂ qu'il contient, ce qui est le cas des petites branches, des chutes

récupérées dans le traitement industriel du bois ou des meubles en bois arrivant en fin de vie.

Développer massivement les pompes à chaleur

L'une des technologies efficaces pour le chauffage est la pompe à chaleur qui puise la plus grande partie de son énergie dans la différence de température entre une source froide (sous-sol (avec échangeur horizontal ou vertical), air extérieur, air extrait...) et une source chaude (air intérieur ou extérieur suivant les cas...). Une pompe à chaleur peut de plus servir au chauffage de l'eau chaude sanitaire et au refroidissement. Son déploiement doit donc être massivement encouragé, en particulier dans les logements collectifs où elle est peu développée aujourd'hui, à condition bien sûr de privilégier les PAC avec un bon rendement (y compris par temps froid).

Les pompes à chaleur air/air ne doivent plus être exclues : elles sont un moyen de résoudre le problème du confort d'été et leur utilisation doit cesser d'être considérée comme un luxe. Elles peuvent également constituer une solution élégante à la modernisation des installations reposant sur des convecteurs électriques d'ancienne génération.

Cet encouragement ne doit naturellement pas se faire au détriment d'autres technologies qui pourraient s'avérer plus performantes dans certains cas (en particulier la géothermie profonde¹³). Soulignons également l'intérêt économique du ballon d'eau chaude que le rapport du CGIET sur le stockage de l'électricité recommande de réhabiliter dans le résidentiel-tertiaire¹⁴, même si sa consommation d'électricité est supérieure à celle d'une pompe à chaleur.

Développer la gestion locale de l'énergie

Afin de favoriser l'innovation, les directives européennes ont introduit les notions de communauté d'énergie renouvelables et de communauté énergétique citoyenne. Ces dernières ne concernent que l'électricité et peuvent couvrir des installations géographiquement très

éloignées les unes des autres : comme l'exemple de l'Espagne nous le montre, elles peuvent agir comme des coopératives écocitoyennes, lever des fonds et organiser des achats collectifs pour faire baisser les prix. La notion de communauté d'énergies renouvelables, transposée en droit français par la récente loi énergie-climat, a quant à elle une vocation locale. La palette des outils permettant de développer la gestion locale de l'énergie se renforce ainsi progressivement, d'autant plus que la loi PACTE (Plan d'action pour la croissance et la transformation des entreprises), adoptée un peu plus tôt dans l'année, a élargi la notion d'autoconsommation collective : son périmètre d'intervention peut désormais s'étendre au-delà de la zone desservie par un même poste BT.

Pourtant, force est de constater que, pour le moment, il n'existe pas de dispositif modèle de l'autoconsommation collective facile à reproduire. Le schéma du bâtiment à énergie positive ou de l'autoconsommation collective reposant simplement sur une série de panneaux solaires photovoltaïques que l'on mettrait en toiture des bâtiments et qui permettrait de produire plus que ce qu'on consomme est en général plus coûteux que l'électricité produite par une centrale solaire au sol et ne permet pas de diminuer la puissance demandée à la pointe : il n'est donc pas souhaitable. Les signaux-prix retenus par la CRE ne lui sont d'ailleurs pas favorables et le dernier appel d'offres dans cette catégorie est un semi-échec. Un modèle d'autoconsommation collective (ou de communauté locale d'énergie) vertueux pour la collectivité nationale dans son ensemble, correspond à un modèle dans lequel le coût total de l'installation énergétique et de son exploitation est moins élevé que celui de la situation de référence dans laquelle cette énergie provient des réseaux existants. Le principal bénéfice pour la collectivité d'une consommation sur place de l'électricité produite devrait ainsi provenir de la diminution de la quantité d'énergie à acheminer à la pointe, ce qui pourrait permettre d'éviter des investissements sur le réseau de distribution, voire sur les réseaux de tension supérieure et sur les installations de production en amont. Ce bénéfice trouverait

sa déclinaison quantitative pour les consommateurs dans les économies réalisées dans une puissance électrique moindre souscrite que ce soit pour l'abonnement ou pour l'acheminement de l'électricité¹⁵.

C'est par exemple (et même si les frais de maintenance ont dérivé) l'idée de l'îlot Hikari à Lyon dont la conception associe pour la production d'électricité du solaire photovoltaïque, une installation de cogénération et le réseau électrique en complément, pour le chauffage de la cogénération au colza avec le gaz en complément, et pour le froid un groupe à absorption et des appoints. La gestion de l'énergie a ainsi été imaginée à travers le regroupement de commerces, de bureaux et d'appartements, le croisement des énergies et naturellement des compteurs permettant à chacun de mesurer sa consommation d'énergie.

Il faut encourager des modèles d'autoconsommation collective produisant certes de l'électricité, mais reposant également sur le pilotage de la demande, du stockage et du croisement des énergies — en gros sur une conception d'ensemble de la gestion de l'énergie du bâtiment — afin de diminuer la demande de puissance électrique à la pointe (ce qui permet de réduire les investissements dans le réseau et la dépense de la collectivité). Une telle opération d'autoconsommation collective ne se conçoit probablement pas sans un gestionnaire compétent du système énergétique du bâtiment qui peut proposer, voire imposer, des formules contractuelles portant sur l'énergie (y compris sur l'exploitation) lors de l'achat des locaux ! La démarche consistant à proposer une formule d'autoconsommation collective *a posteriori* n'a que peu de chances de succès.

À l'évidence, nous n'avons pas encore trouvé la formule idéale de ces communautés locales d'énergie et de l'autoconsommation collective. Les initiatives se multiplient fort heureusement et doivent être encouragées afin de permettre leur inscription dans la réglementation thermique qui succèdera à la RE2020. Les expériences menées dans les autres pays européens doivent également pouvoir nous inspirer.

La gestion active de l'énergie et l'intégration de la mobilité électrique avec le bâtiment

La préoccupation de réduction de la puissance appelée sur les réseaux, en particulier sur le réseau électrique, devrait conduire à faire appel de plus en plus largement aux technologies numériques de gestion active de l'énergie, permettant de n'appeler que l'énergie strictement nécessaire et de lisser la demande pour éviter les pointes. La future réglementation RE2020 devrait porter la plus grande attention à ces technologies en les encourageant, y compris au travers d'installations de stockage appropriées.

À cet égard, le développement de la mobilité électrique est une menace mais aussi une opportunité. Une menace car, si elle n'est pas gérée correctement, la recharge des véhicules électriques peut entraîner des appels de puissance en pointe très importants; une opportunité car les véhicules électriques vont offrir des capacités de stockage considérables qui pourront être utilisées pour le lissage de la courbe de charge des bâtiments et pour une meilleure utilisation des productions d'électricité décentralisées. Il est important que la réglementation à venir encourage ce type de dispositif comme la RT2012 a su le faire pour le recours aux énergies renouvelables.

Quelques remarques sur les indicateurs à retenir

Une fois ces principes posés, on peut en déduire non pas les valeurs précises des indicateurs à retenir dans la future réglementation, mais des orientations générales qu'il sera nécessaire de garder à l'esprit dans le choix même de ces indicateurs et de leur traduction chiffrée.

Un impératif de simplification et de compréhension par le public

Il convient néanmoins d'ajouter en préambule l'impératif de simplification qui doit guider les réflexions. Deux exemples illustreront ces réflexions :

- le débat sur la distinction à opérer entre énergies finale et primaire est un débat récurrent dans la sphère énergétique française qui renvoie aux questions qui se posent sur la place de l'énergie nucléaire ainsi que sur l'usage du gaz chez le consommateur final. Mais dès lors que des objectifs clairs sont fixés sur la place du nucléaire à long terme ainsi que sur l'utilisation du gaz d'origine fossile, il convient de revenir aux préoccupations du consommateur final qui reçoit des factures exprimées en énergie finale et qui, la plupart du temps, même lorsqu'il s'intéresse au détail de sa consommation, ne connaît pas les règles conventionnelles qui permettent de passer de l'énergie finale à l'énergie primaire : ne pas lui en imposer la pratique serait une simplification ;

- l'effet boîte noire, pour reprendre le terme du rapport CGE-CGEDD¹⁶ sur l'évaluation de la réglementation thermique de 2012, est à éviter absolument : le choix d'indicateurs composites, intégrant des objectifs multiples, permet d'en limiter le nombre. Il ne permet pas forcément pour autant d'en simplifier la compréhension : un indicateur unique, dénommé Bbio, doit ainsi rendre compte des caractéristiques du bâti liées à la fois au chauffage, au refroidissement et à l'éclairage¹⁷... Des explications simples et pédagogiques sont donc nécessaires : elles peuvent passer probablement par l'illustration de la valeur de ce coefficient à travers des cas schématiques ultra simplifiés, voire irréalistes. Une autre amélioration possible consiste à introduire explicitement des obligations (ne découlant donc pas de ces indicateurs) : la RT2012 a ainsi imposé, et c'est une amélioration notable, de traiter le pont thermique de la liaison du plancher intermédiaire avec la façade.

Vers l'adoption d'au moins deux critères différents d'émission de gaz à effet de serre

La transition vers la neutralité carbone impose de retenir des indicateurs d'émission de gaz à effet de serre. Mais comme nous l'avons vu plus haut, la dynamique de réduction des émissions de gaz à effet de serre doit être différente entre les émissions en exploitation qui doivent tendre vers zéro le plus

rapidement possible et celles à la construction qui doivent atteindre cette même valeur en 2050. Il est donc souhaitable d'adopter un plafond d'émissions de GES en exploitation (pour les cinq usages RT) qui pourrait être voisin, en moyenne¹⁸, de $5 \text{ kg CO}_2\text{eq}/(\text{m}^2/\text{an})$ ¹⁹, voire moins : lors de l'élaboration de la précédente SNBC, une valeur de 3 (calculée en moyenne sur l'ensemble du parc) avait été envisagée. Ce plafond permettrait de privilégier l'utilisation d'énergies décarbonées ou quasi-décarbonées, et dans le cas où le gaz serait retenu, des solutions hybrides gaz/électricité. Un tel plafond constituerait une incitation forte au développement du gaz renouvelable tout en lui en ménageant le délai nécessaire pour cela. Le plafond devrait être ainsi abaissé progressivement dans le temps.

Il est souhaitable d'adopter en parallèle un indicateur d'émissions de gaz à effet de serre à la construction dont la valeur sera principalement pédagogique dans un premier temps, avec éventuellement la création d'un label, et qui permettra ainsi d'entraîner tout le monde dans le calcul des émissions de GES. Ceci suppose une définition précise et une normalisation des ACV qui devront être conduites. L'indicateur correspondant devra également décroître dans le temps (aussi rapidement que possible) et tendre vers zéro à 2050. Ce dernier indicateur pourrait également avoir pour objectif de favoriser le déploiement de panneaux solaires à faible empreinte carbone ainsi que de nouveaux matériaux (nouveaux bétons, matériaux composites en fibre de carbone...) également à faible empreinte carbone, encore que de tels objectifs, dont la finalité est simple à comprendre, pourraient faire l'objet d'un ou de plusieurs indicateurs spécifiques.

Le seuil maximal de consommation énergétique et l'indicateur de consommation énergétique

Ce seuil, qui a été divisé par un facteur trois dans la réglementation thermique 2012 par rapport à la précédente réglementation thermique, a permis de réduire nettement la

consommation énergétique des bâtiments et constitue un succès de cette réglementation.

Faut-il pour autant l'exprimer en énergie primaire? La réponse nous semble négative et sans aucune ambiguïté. Pour des raisons de simplicité tout d'abord pour le consommateur qui reçoit ses facteurs en énergie finale, et ensuite pour des raisons physiques : dimensionner un logement ou ses différentes composantes avec un coefficient qui va correspondre au rendement d'une centrale de production électrique ou à la composition du mix électrique n'a pas de sens physique.

L'introduction d'un tel coefficient peut conduire, comme l'illustre le rapport CGE CGEDD²⁰, à diminuer ou à renforcer l'isolement des logements de façon différenciée suivant le type d'énergie aujourd'hui utilisée, alors que les logements sont construits pour 100 ans ou plus et que l'on ne sait pas quel sera le mode de chauffage qui s'imposera dans le grand futur.

Par ailleurs, il conduit aussi ainsi à rendre plus difficile le recours aux pompes à chaleur. Alors que celles-ci extraient plus des 2/3 de leur énergie d'une source froide (ou chaude suivant le cas), l'utilisation d'un coefficient de conversion énergie primaire (dans le cadre de l'indicateur de consommation d'énergie primaire ou dans le cadre du calcul des certificats d'énergie) ne leur accordent qu'une réduction de 25 %.

Ce sont des erreurs à corriger. Il faut de fait séparer le raisonnement associé à la baisse du nucléaire dans la production électrique de celui à mener pour dimensionner un bâtiment et éviter qu'un tel coefficient ne pénalise inutilement les pompes à chaleur. La valeur elle-même du coefficient de conversion de l'énergie finale en énergie primaire mériterait un article à part. Avant de la fixer, il convient de garder en tête que cette valeur est purement conventionnelle et n'a pas de réel sens physique : quelle est l'énergie primaire du pétrole? Comment la comparer à l'énergie primaire de l'atome ou de l'énergie solaire ou encore à celle du vent?

La réglementation des bâtiments à l'heure de la neutralité carbone

La solution la plus simple consisterait donc en France à adopter la valeur conseillée par la Commission européenne, ce qui permettrait d'avoir des valeurs d'énergie primaire comparables en Europe et évoluant au même rythme.

Dès lors que la réglementation imposera leur mise en place, les systèmes actifs de refroidissement devront être inclus dans la nouvelle valeur de la consommation énergétique maximale. De plus, un crédit de consommation pourrait être alloué aux bâtiments qui combi-neraient refroidissement actif et production locale d'électricité d'origine solaire.

Dans une vision plus globale de l'intérêt collectif, il est également souhaitable, dans le calcul de l'indicateur, de donner un bonus aux dispositifs permettant de limiter les investissements de capacité des réseaux (puissance de la chaudière et diamètre des canalisations pour le réseau de chaleur, accroissement des besoins en puissance garantie et renforcement des lignes et des postes pour la distribution et le transport électriques...) : stockage, gestion active de l'énergie, couplage des énergies... Ce bonus permettrait de plus d'encourager une autoconsommation profitable à la fois à l'intérêt particulier, mais aussi à l'intérêt collectif.

L'abandon du coefficient BEPOS

Les notions mal déclinées de bâtiment ou de territoire à énergie positive peuvent conduire à des pertes de valeur pour la collectivité : en ce sens, l'indicateur de bilan BEPOS n'est pas pertinent car il confère à tout kWh électrique la même valeur quel que soit l'instant où il est produit. Il est cependant souhaitable de continuer à développer les énergies renouvelables :

- soit en retenant, dans la continuité de la précédente réglementation qui avait institué une obligation semblable pour les maisons individuelles, un ratio minimal d'utilisation des énergies renouvelables pour la chaleur, qui seraient produites localement ou qui pourraient provenir des réseaux (chaleur, électricité ou gaz);
- soit en adoptant des valeurs suffisamment basses de la consommation énergétique

maximale et des émissions maximales de GES en exploitation — ce qui devrait permettre d'aboutir à un résultat semblable (en évitant ainsi un indicateur supplémentaire) et de répondre ainsi à l'obligation de la directive sur les énergies renouvelables qui impose la mise en place d'une obligation d'énergie renouvelable dans tous les bâtiments neufs.

La révision du coefficient Bbio

L'indicateur dénommé Bbio, pour Besoin BIOclimatique, rend compte de la qualité de l'enveloppe du bâtiment et doit être inférieur à une valeur maximale. Il tient compte des besoins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage du bâtiment et remplace le paramètre U bât qui ne prenait en compte que l'isolation du bâtiment. Il est en principe indépendant du type de chauffage choisi. Mais le plafond retenu pour cet indicateur dans la RT2012 est tel qu'il est facilement atteint, ce qui rend la contrainte souvent inopérante. Ainsi, au lieu d'aller vers une enveloppe du bâtiment s'améliorant de plus en plus quelle que soit l'énergie choisie, on aboutit à des qualités d'enveloppe régies non plus par cet indicateur, mais par le choix du combustible retenu.

Comme le montre le rapport sur l'évaluation de la RT2012²¹, lorsque l'énergie de chauffage retenue est le gaz, le coefficient de conversion favorable de l'énergie primaire en énergie finale permet de respecter facilement le Cep et a parfois conduit, en particulier dans les immeubles collectifs, à relâcher la contrainte sur l'isolation par rapport à l'ancienne réglementation de 2005. Au contraire, les bâtiments chauffés à l'électricité ont généralement vu leur isolation notablement renforcée. C'est une anomalie à corriger et un renforcement de la contrainte Bbiomax de l'ordre de 20 % doit pouvoir être envisagé.

Notons au passage que le calcul en énergie finale de la consommation maximale d'énergie permettrait vraisemblablement d'éliminer les effets du coefficient de conversion énergie primaire/énergie finale (qui pour le coup ne

concerne en rien la conception du logement) et de recalculer un Bbiomax plus satisfaisant.

L'introduction d'un coefficient de stockage du bois ne doit pas conduire à un effet pervers

L'utilisation d'un indicateur de stockage du bois dans la construction ne doit pas avoir pour effet pervers de développer un usage inutile du bois. Les documents de l'INRA montrent que l'intérêt principal dans la lutte contre le changement climatique de l'usage du bois pour la construction ou l'ameublement réside dans les émissions qui auraient été produites pour la fabrication des matériaux qu'il remplace. De manière très concrète, cet avantage devrait se retrouver dans le total (plus faible) des émissions émises à la construction. À l'inverse, une utilisation du bois dans la construction neuve qui ne se substituerait pas à d'autres matériaux et dont le seul but serait de stocker du carbone est à déconseiller : elle conduirait en effet à baisser le puits carbone de la forêt française sans contrepartie suffisante. Elle conduirait de plus à exercer une pression inutile sur la biomasse forestière qui sera de plus en plus rare dans le futur. Dit autrement, l'indicateur devrait exclure le bois qui, dans sa mise en place, ne permettrait pas d'éviter une production suffisante de GES.

Conclusion

Première réglementation thermique postérieure à l'Accord de Paris, la RE2020 doit afficher très clairement la priorité qu'il convient d'accorder à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et doit permettre d'entamer la transition vers la neutralité carbone. Elle doit conduire à mettre en avant des indicateurs d'émissions de gaz à effet de serre, en distinguant, parce qu'ils relèvent de problématiques différentes, le stade de la construction et celui de l'exploitation.

Elle ne sera cependant qu'une étape dans la transition, qui sera forcément longue, vers la neutralité carbone, non seulement parce qu'il ne sera pas possible d'exiger du jour au

lendemain la construction de nouveaux bâtiments respectant un objectif d'émissions quasi nul, mais aussi parce que le secteur même de l'énergie va évoluer. Des initiatives vont continuer à se multiplier dans les prochaines années en vue de faire émerger de nouveaux modèles de gestion locale de l'énergie bénéfiques à la fois pour les acteurs locaux et pour la collectivité nationale : il faut les encourager. Le système électrique va lui-même fortement évoluer : le développement du numérique, la transmission aux consommateurs d'un signal-prix intégrant mieux l'importance qu'il faut accorder aux questions de puissance appelée, vont permettre une gestion beaucoup plus active de sa consommation par le citoyen et conduire à de nouvelles innovations. Le développement du véhicule électrique et de ses capacités de stockage devraient entraîner de nouveaux appels de puissance mais aussi introduire un nouveau degré de liberté dans la gestion de l'énergie du bâtiment. Les innovations dans la production du gaz renouvelable nous permettront de mieux cerner les quantités dont nous pourrions disposer dans un monde neutre en carbone.

Ces innovations permettront de tracer le chemin vers la neutralité carbone. En ce sens, il ne serait pas déraisonnable de concevoir la RE2020 comme un cheminement par étapes, de ne pas prétendre traiter tous les problèmes dans la première version prévue pour la fin 2020 mais de jeter les bases d'une réglementation qui pourra s'améliorer et se préciser au fur et à mesure que les données nécessaires et les évaluations correspondantes deviendront disponibles.

NOTES

1. *Le BEPOS, échanges et regards d'Alain Maugard*, Février 2014. https://conseils.xpair.com/actualite_experts/bepos-exchanges-regards-alain-maugard.htm
2. *L'adaptation de la France aux dérèglements climatiques à l'horizon 2050*, Mai 2019, Sénat, Rapport d'information, Rapporteurs : Ronan Dantec, Jean-Yves Roux ; <http://www.senat.fr/rap/r18-511/r18-511.html>
3. La mise en place de systèmes actifs de refroidissement est cependant obligatoire pour certains bâtiments (classés

CE2) pour lesquels il est difficile d'ouvrir les fenêtres en été, notamment les immeubles de grande hauteur ainsi que les bâtiments situés en zone de bruit des aéroports ou des voies rapides.

4. <https://www.nielsen.com/fr/fr/insights/article/2019/fans-foggers-and-ice-creams-stars-of-heat-wave/>

5. <http://www.eclairerlavenir.fr/actualites/eclairer-lavenir-demain-100-de-gaz-vert/>

6. Voir notamment : <https://www.berkeleyside.com/wp-content/uploads/2019/07/Item-C-Rev-Harrison.pdf> et <https://www.berkeleyside.com/2019/07/17/natural-gas-pipes-now-banned-in-new-berkeley-buildings-with-some-exceptions>

7. <https://www.government.nl/documents/reports/2017/03/01/energy-agenda-towards-a-low-carbon-energy-supply>

8. Par pompe à chaleur hybride, nous entendons l'association d'une pompe à chaleur air/eau et d'une chaudière à condensation. Un programme automatique peut alors choisir de recourir à l'un ou l'autre de ces deux systèmes en fonction de la différence de température (et donc du rendement de la PAC) et du prix des énergies.

9. De préférence avec un prélèvement de calories dans l'air extrait.

10. En raison de l'obligation pour les maisons individuelles de recourir à au moins 10 % d'EnR pour leur consommation individuelle.

11. Les documents de 2017 de l'INRA sur les scénarios d'évolution de la forêt donnent des valeurs « moyennes » de CO₂ économisé lorsque du bois d'œuvre est utilisé pour la construction en remplacement d'autres matériaux : <https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/419207-b987f-recherche-etude-forets-bois-et-changement-climatique-rapport.pdf>

12. Ceux-ci figurent notamment dans la Stratégie nationale bas carbone. Voir en particulier le chapitre 4-4-2 iv et l'annexe 6. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Projet%20strategie%20nationale%20bas%20carbone.pdf>

13. En région parisienne, la température de l'aquifère présente dans le Dogger (environ – 1 600 à – 1 800 mètres) est comprise entre environ 55 °C et 80 °C : son exploitation ne nécessite donc pas de pompe à chaleur, contrairement à une opération de géothermie de surface qui puise l'eau dans le sol à une température indépendante de celle de l'air extérieur et en extrait, grâce à des pompes à chaleur, des calories qui vont permettre de chauffer la maison, à l'aide d'un fluide intermédiaire dont la condensation dégage de la chaleur.

14. *Le stockage stationnaire de l'électricité*, Rapport CGIET, Recommandation 5 « Réhabiliter le stockage par

ballon d'eau chaude dans le résidentiel-tertiaire, de façon à réduire le recours futur du réseau au stockage d'électricité, ce qui serait socio-économiquement plus coûteux (même si la consommation d'électricité d'un logement peut être diminuée grâce à l'usage, par exemple, d'une pompe à chaleur). À cet effet, veiller notamment à ce que la future Réglementation environnementale 2020 des bâtiments privilégie la baisse des émissions de gaz à effet de serre, ce qui implique de fixer un niveau adéquat au coefficient de « conversion en énergie primaire », sans doute proche de 2,1 comme le suggère l'Union européenne. » https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/Rapport%20stockage%20stationnaire%20d%27electricite_0.pdf

15. Voir notamment la délibération de la CRE sur la tarification de l'autoconsommation : <https://www.cre.fr/Documents/Deliberations/Decision/Tarification-Autoconsommation-et-modification-deliberation-TURPE-HTA>

16. *Évaluation de la réglementation thermique de 2012 dans les bâtiments en vue de la prochaine réglementation environnementale*, Octobre 2018, Rapport CGE-CGEDD, Anne Florette, Michel Jean-François, Mireille Campana, Didier Pillet. https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/Rapports/Rap2017/CGE_R2017_08SG_RT2012-1.pdf

17. Voir ci-dessous le sous-paragraphe intitulé la révision du coefficient Bbio.

18. Ces valeurs restent à ajuster en fonction du retour d'expérience ainsi que des zones géographiques.

19. Voir notamment sur ce point la publication de Carbone 4 intitulée *Le label E+C- : quel avenir pour la construction neuve?* : <http://www.carbone4.com/label-ec-avenir-construction-neuve-de-demain/>

20. Voir le paragraphe ci-dessous intitulé la révision du coefficient Bbio ainsi que le rapport qui a mis en évidence ce point : *Évaluation de la réglementation thermique de 2012 dans les bâtiments en vue de la prochaine réglementation environnementale*, Octobre 2018, Rapport CGE-CGEDD, Anne Florette, Michel Jean-François, Mireille Campana, Didier Pillet. https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/Rapports/Rap2017/CGE_R2017_08SG_RT2012-1.pdf

21. *Évaluation de la réglementation thermique de 2012 dans les bâtiments en vue de la prochaine réglementation environnementale*, Octobre 2018, Rapport CGE-CGEDD, Anne Florette, Michel Jean-François, Mireille Campana, Didier Pillet. https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/Rapports/Rap2017/CGE_R2017_08SG_RT2012-1.pdf